



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**LAURA INHA**

**HULEVESIEN HALLINTA RAKENNETUILLA ALUEILLA**

Diplomityö

Tarkastajat: Suunnittelupäällikkö Kimmo Hell,  
Ramboll Finland, Dosentti Tapio Katko, TTY

Tarkastajat ja aihe hyväksytty: Rakennetun ympäristön  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa 7. huhtikuuta 2010

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**INHA, LAURA:** Hulevesien hallinta rakennetuilla alueilla

Diplomityö, 73 sivua

Huhtikuu 2010

Pääaine: Vesi- ja ympäristötekniikka

Työn tarkastajat: suunnittelupäällikkö Kimmo Hell, dosentti Tapio Katko

Avainsanat: Hulevesien hallinta, rakennetut alueet, käyttökokemukset, talviolosuhteet

Työn tavoitteena on arvioida kotimaisen ja kansainvälisen kirjallisuuden sekä haastatteluiden avulla hulevesien eri hallintamenetelmiä ja niiden toimivuutta rakennetussa ympäristössä. Hallintamenetelmien soveltuvuudessa on otettu huomioon myös talviolosuhteet. Lopuksi työssä esitellään CASE-tapauksena hulevesihanke Espoon Monikonpuron itäisestä haarasta.

Työssä tutkitut hulevesien hallintamenetelmät on jaoteltu huleveden johtamis-, vähentämis- ja viivytysmenetelmiin. Kaikki menetelmät soveltuvat Suomeen, joskin talviolosuhteissa parhaiten selviytyvät maanalaiset imeytysrakenteet. Imeytysrakenteita onkin tutkittu pitkään ja niistä on paljon hyviä kokemuksia. Yleisesti talvi heikentää tilapäisesti erityisesti maanpäällisten rakenteiden imeytyskykyä sekä varastointi- ja johtamiskapasiteettia. Ominaisuudet kuitenkin palautuvat lumen ja jään sulaessa. Poikkeuksellisten rankkasateiden aiheuttamien hulevesivirtaamien hallinnassa kosteikot ja lammikot toimivat parhaiten. Tiheään rakennetuilla alueilla, joissa on paljon päällystettyä pintaa, kiinteistökohtaiset pidätysvelvollisuudet ovat maanalaisten rakenteiden lisäksi lähes ainoa mahdollisuus hyödyntää perinteisestä hulevesiviemäroinnistä poikkeavia, vaihtoehtoisia menetelmiä.

Tutkimuksen ja CASE-tapauksen perusteella voidaan todeta, että hulevesien hallinnan tärkein keino on kaavoitus. Kaavoituksessa tulisi ottaa huomioon veden luonnolliset kulkureitit ja valuma-alueen maaperäolosuhteet. Tällöin hulevesien hallintarakenteet voidaan sijoittaa alueelle tehokkaasti. Hulevesien huomioiminen jo kaavoitusvaiheessa säästää myös kustannuksia, kun hallintarakenteille ei tarvitse jälkeinpäin tehdä tilaa. Hallintarakenteiden toimivuuden kannalta kunnossapito on tärkein osatekijä. Säännöllisellä huollolla voidaan myös pidentää merkittävästi rakenteiden elinikää.

Suomessa sovelletaan jatkuvasti huleveden eri hallintamenetelmiä. Vain seurantatutkimuksia tekemällä näistä hankkeista voidaan saada arvokasta tietoa tulevaisuuden hulevesisuunnittelua ja päätöksentekoa varten. Kiinnostusta vaihtoehtoisille huleveden hallintamenetelmille on selvästi havaittavissa.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Department of Civil Engineering

**INHA, LAURA:** Stormwater Management in Built-up Areas

Master of Science Thesis, 73 pages

April 2010

Major: Water and Environmental Engineering

Examiners: Planning Manager Kimmo Hell, Adjunct Professor Tapio Katko

Keywords: Stormwater management, built-up areas, user experiences, winter conditions

The purpose of this master's thesis is to examine different stormwater management methods and their efficiency in built-up areas based on Finnish and international literature and interviews. Winter conditions are also considered in the assessment of the applicability of the methods. The thesis ends with a case-study of a stormwater management project for the eastern branch of Monikonpuro Brook in the City of Espoo.

The studied stormwater management methods include the transportation, reduction and detention methods. All of them are applicable in Finland, although the underground infiltration structures function best in winter. Infiltration structures have been studied for a long time and the experiences from them are good. Winter conditions generally lower temporarily especially the infiltration, storage and transportation capacity of surface structures. These properties are, however, restored as soon as snow and ice melt away. Wetlands and ponds are the best method for controlling stormwater flows caused by exceptionally heavy rainfall. In densely built-up areas with a lot of paved surfaces, property-specific stormwater retention ordinances and underground structures are just about the only alternative for traditional stormwater management.

This master's thesis shows that planning is the most important means of managing stormwater, which should take into account the natural courses of water and the soil conditions in the catchment area. Only then can management structures be located effectively there. Considering stormwater management already in the planning phase also saves costs by eliminating the need to clear space for the structures afterwards. The maintenance of stormwater management structures is the most important factor as regards their functioning. Regular maintenance can also significantly prolong the life cycle of the structures.

The various stormwater management methods are continuously being applied in Finland. Only through follow-up research on these projects can valuable information be collected for future stormwater planning and decision making. Interest for alternative management methods clearly exists.

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereella Ramboll Finland Oy:lle. Kiitän lämpimästi työn tarkastajia suunnittelupäällikkö Kimmo Helliä Ramboll Finland Oy:stä ja Tampereen teknillisen yliopiston dosenttia Tapio Katkoa. Haluan myös osoittaa kiitokset Tampereen teknillisen yliopiston vanhemmalle tutkijalle Pekka Pietilälle ja Ramboll Finland Oy:n suunnittelija Päivi Paavilaiselle hyvistä neuvoista työni aikana.

Kiitokset myös perheelleni ja ystävilleni tuesta ja kärsivällisyydestä kuunnella tarinoita hulevesien hallinnan ihmeellisestä maailmasta.

Tampereella 31.5.2010

Laura Inha

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
ALKUSANAT .....	IV
SISÄLLYS .....	V
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT .....	VII
1. Johdanto.....	1
2. Tutkimuksen tausta.....	2
2.1. Rankkasateet.....	2
2.2. Viemäri- ja taajamatulvat .....	3
2.2.1. Hulevesi- ja jätevesiviemäritulvat .....	3
2.2.2. Taajamatulvat .....	3
3. Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät .....	6
4. Hulevedet rakennetuilla alueilla.....	7
4.1. Taajamien sade- ja kuivatusjärjestelmät Suomessa ja kansainvälisesti.....	7
4.1.1. Suomessa .....	8
4.1.2. Kansainvälisesti.....	9
4.2. Hulevesien laatu .....	10
4.3. Hulevesien hallinnan lainsäädäntö .....	10
5. Hulevesien hallintamenetelmät .....	13
5.1. Hulevesien johtaminen .....	13
5.2. Hulevesien vähentäminen.....	14
5.2.1. Imeytyspainanne.....	14
5.2.2. Imeytysoja .....	16
5.2.3. Viherkatot .....	17
5.2.4. Läpäisevät päällysteet.....	17
5.3. Hulevesien viivyttäminen .....	18
5.3.1. Viivytyksaltaat, -paineet ja -kaivannot.....	18
5.3.2. Kosteikkokäsittely ja lammikot.....	19
5.4. Hulevesien muu käsittely.....	20
5.4.1. Öljynerotin.....	20
5.4.2. Suodatinkaivot.....	21
5.4.3. Kaivosuodatin.....	21
5.4.4. Hulevesikaivojen paikan merkitys katualueilla tulvatilanteissa.....	22
6. Hulevesien hallintamenetelmien toimivuus rakennetuilla alueilla.....	24
6.1. Hulevesien johtaminen .....	24
6.1.1. Talviolosuhteiden vaikutus hulevesien johtamiseen .....	27
6.2. Hulevesien vähentäminen.....	28
6.2.1. Imeytyspainanne.....	29
6.2.2. Imeytysoja .....	32
6.2.3. Talviolosuhteiden vaikutus imeytysrakenteisiin .....	33

6.2.4. Viherkatot .....	33
6.2.5. Läpäisevät päällysteet .....	35
6.2.6. Talviolosuhteiden vaikutus läpäiseviin päällysteisiin .....	37
6.3. Hulevesien viivyttäminen .....	37
6.3.1. Viivytyksaltaat, -painanteet ja -kaivannot .....	37
6.3.2. Talviolosuhteiden vaikutus viivytyksrakenteisiin .....	40
6.3.3. Kosteikkokäsittely ja lammikot .....	40
6.3.4. Talviolosuhteiden vaikutus kosteikkoihin ja lammikkoihin .....	42
6.4. Hulevesien muiden hallintamenetelmien toiminta käytännössä .....	43
6.4.1. Öljynerotin .....	43
6.4.2. Suodatinkaivot .....	44
6.4.3. Kaivosuodatin .....	44
7. CASE-tapaus: Espoon Monikonpuron itäisen haaran hulevesiselvitys .....	45
7.1. Alkutilanne .....	45
7.2. Maankäyttö suunnittelualueella .....	47
7.3. Virtaamalaskelmat .....	48
7.3.1. Nykyisyys .....	49
7.3.2. Tulevaisuus .....	50
7.4. Riskikohteet ja ongelmat .....	51
7.5. Ehdotetut toimenpiteet .....	52
7.6. Toimenpiteiden vaikutukset ja kustannukset .....	52
7.7. Valuma-alueen tulevaisuuden suunnittelusta .....	53
8. Tulosten arviointi .....	54
9. Päätelmät .....	56
LÄHTEET .....	58

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Hulevesi	Maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) tehdyn muutosehdotuksen (90a §) mukaan, hulevedet määritellään rakennetulla alueella maan pinnalle tai muille vastaaville pinnoille kertyväksi sade- tai sulamisvedeksi. Hulevesiin luetaan myös rakennetun alueen kuivatusvedet. (Kaatra et al. 2009, s. 56.)
Maavesi	Vettä, jota on maaperässä pohjaveden pinnan yläpuolella (Sovellettu hydrologia 1986, s. 82).
Vesitalous	Tieteenala, joka käsittelee vesivarojen esiintymistä, hallintaa ja käyttöä, tarkastelee esimerkiksi hydrologisia prosesseja, maankäytön ja ihmistoimintojen vesistövaikutuksia, veden kiertoa ekosysteemeissä, veden merkitystä maanpinnan ja ilmaston välisissä kytkennöissä sekä aineiden kulkeutumista veden mukana. (Vesitalous (tieteenala), Wikipedia.)
Vesitase	Vesitase lasketaan yhtälöstä $E = P - Q \pm \Delta S$ , jossa E kuvaa haihduntaa, P sadantaa, Q valuntaa ja $\Delta S$ veden varastoitumista (Sovellettu hydrologia 1986, s. 70). Vesitaseella kuvataan maaperän vesitasapainoa.
Eroosio	Aineksen irtautumista maa- tai kallioperästä veden, tuulen, jään tai painovoiman kuljetettavaksi. Eroosio voi aiheutua luonnon tai ihmisen toiminnasta. (Sovellettu Hydrologia 1986, s. 226.)
Sadanta	Tietyssä ajassa alueelle tippuneen sateen määrä. Kutsutaan myös sademääräksi. (Sovellettu hydrologia 1986, s. 32.)
Haihdunta	Fysikaalisena ilmiönä haihdunta tarkoittaa nestemäisessä tai kiinteässä muodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi (Sovellettu hydrologia 1986, s. 64). Luonnossa haihdunnassa voidaan erottaa haihdunta veden, lumen tai maan pinnasta sekä kasvien ilmaraoista (transpiraatio) tai kasvien pinnoille pidättäytyneen sadannan (interseptio) haihdunta (Vesihuolto I 2004, s. 81).

Virtaama	Tietyn uomapoikkileikkauksen kautta virtaussuuntaan aikayksikössä kulkeutuva vesimäärä (Sovellettu hydrologia 1986, s. 165).
Virtaamahuippu	HQ eli havaintojakson suurin virtaama. Ylivirtaama on keskeinen mitoitusperuste useimmissa vesirakennushankkeissa. (Sovellettu hydrologia 1986, s. 191, 213.)
Alivirtaama	NQ eli havaintojakson pienin virtaama kuvaa virtaamia kuivalla kaudella. Kuivakauden virtaaman suuruudella ja kauden kestolla on merkitystä vesivarojen käytön suunnittelussa. (Sovellettu hydrologia 1986, s. 191, 220.)
Valunta	Valuma-alueelta lähtenyt vesimäärä aikayksikkö kohden (Sovellettu hydrologia 1986, s. 152).
Pintavalunta	Se osa sadannasta tai sulannasta, joka ei haihdu maaperään vaan kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta vesistöihin (Vakkilainen et al. s. 46).
Pohjavesivalunta	Se osa sadannasta tai sulannasta, joka imeytyy ja maaperään ja sitä kautta pohjavesiin ja vesistöihin (Vakkilainen et al. s. 46).
Valuma	Valunta alueen pinta-alaa kohden (Valunta, Wikipedia).
Välitön valunta	Vesiuomien pintavaluntaa, jota esiintyy yleensä vain keväällä sulamisvesien aikaan ja syksyllä runsaiden sateiden kyllästettyä maan (Vakkilainen et al. s. 46).
Mitoitussade	Suurin hulevesimäärä, jonka välittömäksi poisjohtamiseksi viemäri mitoitetaan. Mitoitussadetta määritettäessä otetaan huomioon sateen rankkuus, kesto aika ja toistuvuus. (Vesihuolto I 2004, s. 460.)
Sateen rankkuus	Rankkuus kuvaa sateen intensiteettiä. Mitä pidempi sade, sitä vähemmän sataa aikayksikössä eli rankkuus on pienempi. (Vesihuolto I 2004, s. 460.)
Sateen kesto aika	Aika, jonka tietyn suuruinen sade kestää (Vesihuolto I 2004, s. 81).



Sateen toistuvuus	Toistuvuus kertoo, kuinka usein tietyn suuruinen sade toistuu (Vesihuolto I 2004, s. 81).
Valumiskerroin	Kerroin osoittaa, minkä osan sateesta arvioidaan johtuvan viemäriin muun osan haihtuessa ja imeytyessä maahan. (Vesihuolto I 2004, s. 461.)
Hidastumiskerroin	Kerrointa laskettaessa tai arvioitaessa otetaan huomioon alueen laajuus, muoto ja muut hidastumiseen vaikuttavat ominaisuudet (Vesihuolto I 2004, s. 463). Kerroin kuvaa veden viipymistä alueella.
Valuma-alue	Alue, jolle pudonnut sadevesi kulkeutuu pois alueen vesistön kautta. Valuma-alueen rajaavat vedenjakajat eli korkeat maaston kohdat, jotka konkreettisesti jakavat sataneen veden sen mukaan, kumpaa rinnettä vesi valuu. Pinta- ja pohjavesien valuma-alueet ja vedenjakajat voivat erota toisistaan. (Valunta, Wikipedia.)
Avoin asfaltti (AA)	Kiviaineksen ja bitumin seos, jossa sideaineen ja hienoaineksen määrä on normaalia vähäisempi, minkä ansiosta avoimella asfaltilla on huokoinen rakenne ja parempi vedenläpäisevyys (Hyöty 2007, s. 6).
Padotuskorkeus	Korkeustaso, jolle vesi voi hetkellisesti nousta. Viemäriin liitettyjen rakennusten alimman lattiatason on oltava tämän korkeuden yläpuolella. (Kuusamon energia ja vesi.)
Fotosynteesi	Biokemiallinen prosessi, jota kutsutaan myös yhteyttämiseksi. Prosessissa kasvisolut tuottavat ravintonsa hiidioksidista ja vedestä auringon säteilyenergian avulla. (Yhteyttäminen, Wikipedia.)

# 1. Johdanto

Ilmastonmuutoksen vuoksi voimakkaat sateet lisääntyvät tulevaisuudessa (Aaltonen et al. 2008, s. 106). Rankkasade ja taajamatulva -raportin RATU:n (Aaltonen et al. 2008) mukaan touko-syyskuun sademäärien voidaan olettaa kasvavan 10–15 % ajanjaksoon 2071–2100 mennessä ja keskimääräisten, kesäkauden rankimpien vuorokausisateiden 10–30 % (Aaltonen et al. 2008, s. 105). Lisääntyneet sateet lisäävät myös hulevesien määrää.

Suomen ympäristökeskuksen mukaan hulevedellä tarkoitetaan maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettavaa sade- ja sulamisvettä. Hulevesiin luetaan myös perustusten kuivatusvedet. (Hulevesien hallinnan kehittäminen, Suomen ympäristökeskus.)

Hulevesien määrä lisääntyy myös, kun kaupunkimaisen rakentamisen ja sen myötä päällystettyjen pintojen lisääntyessä veden imeytyminen maaperään estyy. Hulevesien määrän lisääntyminen tarkoittaa puolestaan tulvariskin kasvamista ja veden virtausnopeuden kasvaessa myös eroosion lisääntymistä. (Sario et al. 2005, s. 79 – 81, Ahposen 2005, s. 64 mukaan.)

Tässä työssä perehdytään hulevesien hallintaan rakennetuilla alueilla. Tarkoituksena on arvioida, miten eri hallintamenetelmät käytännössä toimivat ja miten talviolosuhteet vaikuttavat niihin. Lisäksi työssä on kartoitettu lyhyesti hulevesien määrän lisääntymisen taustoja, kuvattu nykyisiä sade- ja kuivatusjärjestelmiä sekä otettu esiin huleveden laatuun ja lainsäädännöllisiin seikkoihin liittyviä kysymyksiä. Työn pääpaino on kuitenkin rakennettujen alueiden erilaisissa huleveden hallintamenetelmissä, joita on esitelty luvussa "Hulevesien hallintamenetelmät". Menetelmien mahdollisia ongelmia ja toimivuutta käytännössä käsitellään luvussa "Hulevesien hallintavaihtoehtojen toimivuus käytännössä".

Työssä pohditaan myös kaupunkimaisen rakentamisen aiheuttamia ongelmia hallintamenetelmien valinnassa ja menetelmien onnistumisessa. Työssä ei puututa tarkemmin veden laatuun tai rakenteiden mitoitukseen. Työ suoritetaan pääosin kirjallisuustutkimuksena ja haastatteluina. Käytännön CASE-tapauksena on hulevesiselvityksen valmistuminen Espoon Monikonpuron itäisen haaran alueelle.

## 2. Tutkimuksen tausta

Maapallon ilmaston lämpenemisellä on laajoja vaikutuksia luontoon ja muuhun ihmisen elinympäristöön. Eräs ilmastomuutoksen vaikutuksista liittyy sadantaan. On arvioitu, että ilmastomuutoksen johdosta sadanta kasvaa maapallon navoilla, kun taas alueilla, joissa nykyään on jo kuivaa, sateet vähenevät (Ilmastomuutos, Suomen ympäristökeskus).

Ilmastomuutoksen on ennustettu kasvattavan sadantaa erityisesti maapallon napa-alueilla (Ilmastomuutos, Suomen ympäristökeskus). Suomen ympäristökeskuksen, Ilmatieteen laitoksen ja Teknillisen korkeakoulun hankkeessa "Rankkasateet ja taajamatulvat" (RATU) arvioitiin vuosien 2000–2005 sadehavaintojen perusteella, miten ilmastomuutos muuttaa lyhytkestoisia sateita ja miten niiden vaikutukset näkyvät taajamissa. Hankkeen loppuraportissa (Aaltonen et al. 2008) arvioitiin touko-syyskuun sademäärien kasvavan Suomessa keskimäärin 10–15 % ajanjaksoon 2071–2100 mennessä. Erityisesti kesän sadeilmastoa leimaa rankkasateiden voimistuminen: keskimääräisten, kesäkauden rankimpien vuorokausisateiden ennustettiin kasvavan 10–30 % ja kuuden tunnin rankimpien sateiden karkeasti arvioiden 15–40 %. Muutos ajan kuluessa on melko lineaarinen. Vaikka sateet runsastuvatkin enemmän talvella, rankkasateita esiintyy kuitenkin kesällä useammin lämpimän ilman ja kosteuden vuoksi. (Aaltonen et al. 2008, s. 105.)

Rankkasateiden lisääntyminen aiheuttaa huolta myös lisääntyvistä tulvista. Tiivistyvä kaupunkirakenne ja päällystettyjen pintojen lisääntyminen muuttavat veden luonnollista kiertokulkua ja osaltaan kasvattavat tulvariskiä erityisesti taajama-alueilla.

### 2.1. Rankkasateet

RATU-hankkeessa tutkittiin kesäsateiden sademittariaineistoja sääutkahavaintoihin perustuvien uusien rankkasadejakaumien vertailu- ja tausta-aineiston luomiseksi. Sademittarihavaintojen mukaan lyhytkestoisen, esimerkiksi 10 minuutin sateen rankkuus on melko yleisillä, kerran 2–12 vuodessa toistuvilla sateilla pienempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa oli todettu. Vastaavasti harvinaisten, noin kerran 100 vuodessa toistuvien sateiden rankkuus olisi suurempi (Aaltonen et al. 2008, s. 103). Käytännössä tämä tarkoittaa sateita, jolloin lyhyessä ajassa sataa poikkeuksellisen paljon vettä.

Sademittarihavaintoaineisto osoitti myös, että etelärannikkoon verrattuna Pohjois-Lapin rankkasateiden todennäköisyydet ovat puolet pienempiä. Esimerkiksi Helsingissä sadetapahtuman toistuvuus on noin 20 % yleisempi kuin koko maassa yleensä. (Aaltonen et al. 2008, s. 103.)

## **2.2. Viemäri- ja taajamatulvat**

Anu Paavilainen (2008) Lähivakuutuksesta arvioi seminaariesityksessään "Turvallisen asumisen arvo", että vuosina 2003 – 2005 oli yhteensä noin 70 tulvavahinkoa, jotka eivät kuuluneet luokkaan "normaalit kevättulvat ja vedennousut". Ilmastonmuutos pahentaa taajamien tulvimisriskiä, koska voimakkaat sateet lisääntyvät keskimääräisiä enemmän (Aaltonen et al. 2008, s. 106).

### **2.2.1. Hulevesi- ja jätevesiviemäritulvat**

Taajamissa tulvaveden korkeudet on määritelty viemärin padotuskorkeuden avulla (Aaltonen et al. 2008, s. 106). Jos padotus on kohonnut niin suureksi, että vesi purkautuu viemäristä kaivon kansien, lattiakaivojen tai muiden viemärointipisteiden kautta kiinteistöön, pihalle tai kadulle, kutsutaan syntyvää tulvaa viemäritulvaksi (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän raportti 2005, s. 75).

Syyskuun alussa vuonna 2004 rankkasade aiheutti Kouvolassa vahinkoja noin sadalla kiinteistöllä. Vesi tulvi kiinteistöjen kellareihin, kun hulevesiviemärit tukkeutuivat. Sadevesi ylikuormitti myös jätevesiviemäreitä, jolloin jätevesi virtasi kymmeniin kiinteistöihin ja aiheutti terveydellisiä ja taloudellisia vahinkoja. (Siukkola 2007, s. II, 78.)

Jätevesiviemäritulvat tapahtuvat yleensä tasaisessa maastossa sijaitsevilla asuinalueilla, joiden läpi johdetaan myös muiden asuinalueiden jätevesiä. Jätevesiviemäritulvia voidaan estää kartoittamalla verkoston kunto ja tekemällä vaaditut peruskorjaukset ja -parannukset. Kiinteistökohtaisesti viemäritulviin voidaan varautua asentamalla viemärilaitteistoon jäteveden takaisinvirtauksen estäviä varolaitteita tai järjestämällä pumppaus kellarin viemäroidyistä tiloista. (Siukkola 2007, s. II, 78.)

### **2.2.2. Taajamatulvat**

Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportin (2005) mukaan taajamatulvat syntyvät, kun rakennettujen alueiden kuivatusjärjestelmä ei toimi suunnitellulla tavalla ja hule- ja sekaviemäreiden mitoitus ylittyy tai hulevesien maanpäällinen hallinta ei toimi asianmukaisesti. Tämä aiheuttaa hulevesien kerääntymistä kaduille ja pihaille. Hulevesien purkautuessa hallitsemattomasti aiheutuu vahinkoja. (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän raportti 2005, s. 75.)

Rankkasateista aiheutuvat taajamatulvat johtuvat usein monesta samanaikaisesta tekijästä. Ongelmana saattaa olla esimerkiksi viemäritilöiden tukkeutuneet kannet tai niiden väärä korkeusasema, jolloin kaikki sadevedet eivät pääse virtaamaan hulevesi- ja sekaviemäriin, vaikka niissä olisi käyttämätöntä kapasiteettia. (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän raportti 2005, s. 75). Jätevesikaivojen tukokset olivat osaltaan syyllisiä, kun elokuussa 2005 rankkasateen aiheuttama tulva nosti jätevedet noin 40 kiinteistön kellareihin kahdessa erillisviemäroidyssä taajamassa Pirkkalassa.

Tapauksessa epäiltiin pelastuslaitoksen tahattomasti edesauttaneen jätevesiviemäritulvaa pumpaamalla hulevettä jätevesikaivoon tulvan torjuntatilanteessa. (Leinonen 2006, Siukkolan 2007, s. 24 mukaan.)

Alueiden liian tiivis rakentaminen, pintavalunnan luonnollisten varastoalueiden ja virtausreittien sekä alavien maa-alueiden rakentaminen ja päällystäminen vettä läpäisemättömillä pinnoilla kasvattavat osaltaan taajamatulvien riskiä. Tulvariskiä kasvattavat myös maaperän luonnostaan huono vedenläpäisevyys, lyhytnäköinen suunnittelu, riittämätön hulevesiverkoston kapasiteetti ja tulvareittien puutteellisuus. (Lehtikangas 2005, s. 14 – 15.)

Taajamien hulevesirakenteita ei ole suunniteltu välittämään kaikkein rankimpien sateiden vesiä (Aaltonen et al. 2008, s. 8), vaan niitä varten on suunniteltava erilliset tulva- ja ylivuotoreitit. Vaikka hulevesirakenteiden mitoittamiseksi on useita erilaisia ohjeita, yleinen mitoitusperuste on keskimäärin kerran kahdessa vuodessa tapahtuva, noin 10 minuutin sade (Aaltonen et al. 2008, s. 8). Kunnallisen vesihuollon neuvottelukunnan ohjeissa on todettu, että alueilla, joilla tulvat ovat erittäin haitallisia, viemärit tulee mitoittaa siten, että ne toimivat padottamatta kerran 5 – 10 vuodessa toistuvalla sateella (United States Environmental Protection Agency 1999a, Aaltosen et al. 2008, s. 11 mukaan).

Taajamatulvia voi esiintyä milloin vain, mutta yleensä suurin tulvariski on heinä-elokuussa. Poikkeuksellisen rankkoihin sateisiin varautuminen on ongelmallista, koska sade voi osua mihin tahansa. Lisäksi tulva voi kehittyä jopa alle puolessa tunnissa, mikä jättää hyvin vähän varautumisaikaa. (Aaltonen et al. 2008, s. 8). Elokuun sadannan keskiarvo on normaalisti noin 40 mm/3 tuntia, mutta vuoden 2007 elokuussa satoi Porissa 3 tunnin aikana kuitenkin 140 mm. Rankkasade ylitti Porin suoraviivaisesti pohjois-eteläsuunnassa. Erityisen hankalaksi sateen teki sadealueen kapeus, vain noin 3 km. (Lankiniemi 2008, s. 17.) Sade aiheutti huomattavia vahinkoja muun muassa kiinteistöille ja katuverkolle. Rahallisten vahinkojen arvioitiin olevan yhteensä noin 20 M€. (Kotiniemi 2008, s. 9.)

Rakennetuilla alueilla tulvareittien järjestäminen voi olla ongelmallista. (Aaltonen et al. 2008, s. 8). Sen vuoksi Porissa havahduttiin tulvan jälkeen pohtimaan kaupunkisuunnittelua ja tulvatilanteissa toimimista. Esille tulleita parantamishdotuksia olivat tulvareittien ja hulevesien viivytys- ja imeytysaltaiden huomioiminen jo kaavoitusvaiheessa, viemäriverkoston erottaminen hulevesiverkostosta sekä verkoston oikea mitoittaminen. Liikenneväylien ja puistojen käyttäminen tulvareitteinä ja toisaalta esimerkiksi hätäkeskusten toimintakyvyn kannalta tärkeiden väylien käyttökelpoisuuden varmistaminen koettiin myös tärkeinä toimenpiteinä. Lisäksi haluttiin kiinnittää huomiota kiinteistövahinkojen minimoimiseen muun muassa kieltämällä kellarit tulvariskialueilla. (Kotiniemi 2008, s. 2.)

Rannikoilla tulvavahinkoja voi aiheuttaa myös meriveden kohoaminen. Helsingissä vuoden 2005 loppiaisiiklonloppuna merivedenpinta nousi 1,5 metriä keskivedenkorkeuden yläpuolelle (Arosilta 2006, s. 76, Niemi 2006, Siukkolan 2007, s. 22 mukaan). Uhkana oli meriveden tulviminen Helsingin kaduille. Tilanteessa toimittiin

Helsingin kaupungin tulvantorjuntasuunnitelman mukaisesti. Keskustan sekaviemäriverkon ja pumppaamoiden ylivuotorakenteet tukittiin, muun muassa Kauppatorille järjestettiin meriveden pumppaus, hiekkasäkkejä kuljetettiin alavien maastokohteiden suojarakenteisiin ja ranta-alueiden asukkaita opastettiin kiinteistöjen kuivana pidossa. (Vikman & Arosilta 2006, s. 76, Siukkolan 2007, s. 22 – 23 mukaan.)

Tulvantorjuntaorganisaatio onnistui hyvin ja todisti kaupungin varautumissuunnitelman toimivuuden (Niemi 2006, Siukkolan 2007, s. 23 mukaan). Keskustan sekaviemäreiden tulviminen kaduille ja kiinteistöjen kellareihin onnistuttiin estämään (Ympäristö ja Terveys -lehti 2006, s. 38, Siukkolan 2007, s. 23 mukaan). Ainoastaan vähän merivettä pääsi viemäreihin. Korkea meriveden pinta hidasti virtausta puhdistettujen jätevesien purkutunnelissa ja osa käsitelystä jätevedestä jouduttiinkin johtamaan Vanhankaupunginlahteen. Keskusta-alueilta käsittelemättömiä viemärivesiä johdettiin mereen. ( Vikman & Arosilta 2006, s. 76, Siukkolan 2007, s. 23 mukaan.)

### 3. Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida hulevesien eri hallintamahdollisuuksia rakennetuilla alueilla. Tutkimus aloitetaan kirjallisuuden yleiskatsauksella taajamien perinteisiin sade- ja kuivatusjärjestelmiin sekä Suomessa että kansainvälisesti. Lisäksi huomioidaan yleisesti huleveden laatuun ja lainsäädäntöön liittyviä kysymyksiä, vaikka ne sinänsä eivät olekaan työssä tutkimuskohteena.

Ensisijaiseen tutkimuskysymykseen hulevesien eri hallintamahdollisuuksista rakennetuilla alueilla perehdytään kartoittamalla erilaisia hulevesirakenteita kotimaisen ja kansainvälisen kirjallisuuden sekä haastatteluiden avulla. Tämän jälkeen tutkitaan, miten rakenteet käytännössä toimivat ja sopivat rakennetuille alueille. Yhtenä näkökulmana työssä on myös talviajan vaikutus hulevesirakenteiden toimivuuteen ja elinkaareen. Hallintamenetelmien toimivuuden arviointi perustuu pääosin eri suunnitteluohjeiden suosituksiin ja käytännön kokemuksiin erilaisista hankkeista. Kokemusten saamiseksi haastatellaan alan ammatti-ihmisiä kirjallisuustutkimuksen lisäksi.

Eri hulevesirakenteiden toimintaperiaatteiden selkeyttämiseksi on piirretty joistakin menetelmistä periaatekuva. Esimerkkeinä käytännön toteutuksista on valokuvia toteutuneista kohteista sekä Suomesta että muualta maailmasta. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa, miten eri rakenteet voidaan rakennetussa ympäristössä toteuttaa ja maisemoida. Esimerkeillä halutaan paitsi selkeyttää erilaisia hulevesien käsittelymahdollisuuksia myös osoittaa, miten ne voidaan sijoittaa maisemaan estetiikkaa unohtamatta. Tämä puolestaan toivottavasti rohkaisee myös valitsemaan muitakin kuin perinteisiä menetelmiä.

CASE-tapauksella halutaan havainnollistaa käytännön hulevesien suunnittelua rakennetulla alueella ja siinä kohdattavia ongelmia. Tapauksen avulla voidaan arvioida, miten tiivistyvä kaupungistuminen ja jatkuva luonnon pintojen päällystäminen vaikuttaa hulevesien hallintamahdollisuuksiin.

Käytännön kokeita ja laboratoriotutkimuksia esimerkiksi hulevesirakenteiden toimivuudesta ei työssä ole mahdollista tehdä, koska luotettavien tulosten saaminen kestää useissa tapauksissa vuosia.

## 4. Hulevedet rakennetuilla alueilla

Kaupunkimaisen rakentamisen ja sen myötä päällystettyjen pintojen lisääntyessä veden imeytyminen maaperään estyy ja hulevesien määrä lisääntyy. Kun maa- ja pohjavesiä ei muodostu, pohjaveden pinta laskee, mikä vaikuttaa maaperän vesitalouteen, stabiiliuteen ja kasvuolosuhteisiin. Hulevesien määrän lisääntyminen tarkoittaa puolestaan tulvariskin kasvamista ja virtausnopeuden kasvaessa myös eroosion lisääntymistä. (Sario et al. 2005, s. 79–81; Ahponen 2005, s. 64.)

Kaupungistuminen ja rakennettujen alueiden lisääntyminen aiheuttavat myös sadannan kasvua ja haihdunnan pienentymistä. Sadannan kasvun suuruus voi olla 10–15 %, mikä johtuu muun muassa saastumisen aiheuttamasta lisätiivistymisestä ilmassa ja ilmavirtojen pyörteisyyden lisääntymisestä. Haihdunnan väheneminen johtuu siitä, että hulevedet johdetaan nopeasti pois päällystetyiltä pinnoilta eikä vesi ehdi imeytyä maaperään ja haihtua siitä kasvillisuuden avulla. Rakentamisen myötä lyhytaikaiset virtaamahuiput siis kasvavat selvästi ja niitä saattaa seurata pienentynyt alivirtaaman jakso. (Sario et al. 2005, s. 81.)

Suomalaisilla kaupunkialueilla sadanta- ja valuntatapahtumien keskimääräinen valuntakerroin vastaa noin puolta päällystettyjen pintojen osuudesta. Jos päällystetyn pinta-alan osuus on esimerkiksi 40 %, muodostuu sateen välittömäksi valunnaksi 20 %. (Kotola 2004, s. 24.) Päällystettyjen alueiden lisääntyminen ja ilmastonmuutos kasvattavat kuivatuksen ja hulevesien hallinnan kapasiteettitarvetta (Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportti 2005, s. 75–76).

### ***4.1. Taajamien sade- ja kuivatusjärjestelmät Suomessa ja kansainvälisesti***

Jo rakennetuilla alueilla on melko vähän keinoja tulvien aiheuttamien vahinkojen välttämiseksi, koska hulevesiviemäreiden vaihtaminen suuremmiksi ei ole aina mahdollista (Aaltonen et al. 2008, s. 8). Vaihtoehtona hulevesijärjestelmän muuttamiselle tai tehostamiselle on soveltaa imeytystä, lammikoita ja muita luonnonmukaisia menetelmiä vanhan järjestelmän rinnalla. Monissa maissa hulevesien hallinta perustuu huippuvirtaamien pidättämiseen, millä tasoitetaan kokonaisvirtaamia ja huomioidaan hulevesien laatu. Näin kaikki hulevedet eivät tulvatilanteessa kuormita järjestelmää yhtä aikaa. Suomessa vastaavan periaatteen soveltaminen vaatisi lisätutkimuksia erityisesti talviajalta. (Aaltonen et al. 2008, s. 106.)



#### 4.1.1. Suomessa

Suomessa imeyttävää kuivatustekniikkaa alettiin tutkia jo vuonna 1980 Valtion teknillinen tutkimuskeskuksen (VTT) käynnistämässä kevennetyn kunnallistekniikan koerakentamishankkeissa pientaloalueilla eri puolilla Suomea (Huttunen 1985, s. 5). Tutkimuksen kokemukset hulevesien imeyttämisen ja kuivatustekniikan osalta ovat olleet myönteisiä (Inha 2010).

RATU-hankkeen aikana 2000-luvulla tehtyjen tutustumiskäyntien yhteydessä huomattiin, että tulvariskien huomioon ottamisessa, kaavoituksessa ja rakentamisessa on vielä parannettavaa. Suunnittelussa ja rakentamisessa voitaisiin edistää innovatiivisempia ratkaisuja. Lisäksi todettiin, että hulevesien laadullisten toimenpiteiden selvittäminen tarpeen. (Osaraportti 7; Aaltonen et al. 2008, s. 10.)

Viemäröintijärjestelmä jaetaan pääsääntöisesti kahteen pääryhmään: seka- ja erillisviemäröintiin. Sekaviemäröinnissä hule-, jäte- ja kuivatusvedet johdetaan samoissa putkissa toisiinsa sekoittuneina, kun taas erillisviemäröinnissä jätevedet johdetaan omassa putkiviemärissään ja hulevedet joko omassa putkessaan tai avoviemärissä. Jos hulevesiviemäri on riittävän syvällä, pyritään perustusten kuivatusvedet johtamaan sinne. Mikäli putkitettua hulevesiviemäriä ei ole tai se on liian matalalla, salaojavedet voidaan johtaa jätevesiviemäriin. (Vesihuolto I 2004a, Aaltosen et al. 2008, s. 10–11 mukaan.)

Sekaviemäröinnille on tunnusomaista tulvakynnsrakenteet, joiden kautta osa viemäreissä tulvien aikana virtaavasta vedestä johdetaan suoraan vesistöön sopivissa maaston kohdissa. Näin putkistoa ei ole tarvinnut mitoittaa vastaamaan suurimpia virtaamia. Sekaviemäröintijärjestelmiä on vielä yleisesti kaupunkien tiheään rakennetuilla keskusta-alueilla ja se onkin aikaisemmin ollut yleisin viemäröintimenetelmä. (Vesihuolto I 2004a, Aaltosen et al. 2008, s. 10 mukaan.) Nykyään sekaviemärijärjestelmiä ei kuitenkaan enää rakenneta. Viemäröityjen alueiden laajentuessa vanhoihin sekaviemärialueisiin on liitetty yhä enemmän erillisviemäröityjä alueita (Vesihuolto I 2004a, Aaltosen et al. 2008, s. 10 mukaan).

Pienillä paikkakunnilla ja maaseudulla tulvimisesta aiheutuvat vahingot ovat usein vähäisempiä kuin esimerkiksi kaupunkien keskusta-alueilla, minkä vuoksi harvempaan rakennetuilla alueilla voidaan usein käyttää pienempää mitoitussateen toistuvuutta. Toisaalta asiaan vaikuttaa myös viemäröintijärjestelmä. Erillisviemäröinnillä tulvien aiheuttamat häiriöt ja vahingot ovat yleensä huomattavasti vähäisempiä kuin sekaviemärijärjestelmässä. (Aaltonen et al. 2008, s. 11–12.) Lisäksi erillisviemärit ovat sekaviemäreitä parempia vesistönsuojelun kannalta, kun puhdistamattomia jätevesiä ei johdeta suoraan vesistöihin (Vesihuolto I 2004a; Vesihuolto I 2004b, Aaltosen et al. 2008, s. 10 mukaan).

#### 4.1.2. Kansainvälisesti

RATU-projektin yksi osatavoite oli vertailla hulevesijärjestelmiä ja niiden mittausperusteita Suomessa ja kansainvälisesti. Tutkimusalue rajattiin viiteen maahan: USA:han, Kanadaan, UK:hon, Ruotsiin ja Australiaan. Tutkimus rajattiin hulevesien määrään liittyviin tekijöihin ja näkökohtiin, mutta myös laatuasioita käsiteltiin välillisesti, koska maailmalla vallitsevan BMP, Best Management Practise -menetelmän mukaan hulevesien laadun hallinta on yhtä tärkeää kuin määrän hallinta. Tavoitteena on vähentää molemmista aiheutuvia haittoja. Myös eettisen vaikutelman merkitystä korostetaan. (Aaltonen et al. 2008, s. 10.)

Vaikka eri maissa hulevesijärjestelmien suunnittelusta on erilaisia näkökulmia, on hulevesijärjestelmien rakentaminen kaikkialla kallista. Sen vuoksi maailmanlaajuisesti vallitsee pyrkimys alentaa hulevesijärjestelmien suunnittelu- ja rakentamiskustannuksia. Tavoitteena on silti pitää palvelutaso sellaisena, että taajamatulvien riski pienenee ja kaupunkialueiden pintavalunnat pysyvät hallinnassa.

Maailmalla jo pidempään sovelletut vaihtoehtoiset menetelmät eli BMP:t ovat käytännössä torjuntatoimenpiteitä, joiden on todettu minimoivan hulevesien laatuun liittyviä ympäristövaikutuksia. Vuonna 1990 EPA (United States Environmental Protection Agency) julkaisi säädökset, joissa osavaltioita, kuntia ja teollisuuslaitoksia veloitetaan laatimaan ohjelmia hulevesien haittavaikutusten ehkäisemiseksi purkuvesistöissä. Säädökseen kuuluvat myös ohjeet rakentamisen aikaisen eroosion ja sedimentin kulkeutumisen ehkäisemiseksi. (United States Environmental Protection Agency 1999a; United States Environmental Protection Agency 1999b; Ahponen 2003, Aaltosen et al. 2008, s. 12 mukaan.)

Yleensä BMP:t luokitellaan kahteen ryhmään: rakenteellisiin ja ei-rakenteellisiin menetelmiin. Valinta menetelmien välillä tehdään käytettävissä olevan tilan, julkisen hyväksynnän, taloudellisten seikkojen ja tilanteeseen parhaiten sopivan hallintakeinon perusteella (Villarreal 2005, Aaltosen et al. 2008, s. 12 mukaan). Yleensä BMP:itä sovelletaan useampien menetelmien yhdistelminä, joilla pyritään vaikuttamaan virtaamiin jo niiden syntypaikoilla (engl. source-control).

Vertailussa mukana olleissa maissa käytetään vaihtoehtoisia hallintakeinoja huomattavasti enemmän kuin Suomessa. Suurin ero suunnittelu- ja mitoitusohjeissa Suomeen verrattuna on se, että huippuvirtaamien hallinnassa pyritään ensisijaisesti imeytykseen. Lisäksi useissa ohjekirjoissa suunnittelukohteina olevien suurten alueiden ( $> 0,25 \text{ km}^2$ ) poikkeuksellisten tulvien vaaralle tehtyjä suunnitelmia arvioidaan niin sanotun juoksu-analyysin (engl. downstream analysis) perusteella. Analyysillä yritetään varmistaa alueelle mitoitettavan hulevesivaraston riittävyys ja ottaa huomioon virtaamien ja vedenkorkeuden muutokset valuma-alueella mitoitussateen tapahtuessa. Myös ravinnehuuhtoutumia ja hulevesistä aiheutuvaa kuormitusta pintavesille on tutkittu, minkä perusteella on laadittu hulevesien laatuun liittyviä määräyksiä. (Aaltonen et al. 2008, s. 12–13.)

## **4.2. Hulevesien laatu**

Hulevesiä on perinteisesti pidetty "puhtaina" vesinä, mikä nykyisen tutkimustiedon perusteella ei pidä aina välttämättä paikkaansa (Sario et al. 2005, s.78). Pintavaluntana kulkeutuva hulevesi kerää itseensä kaupunkialueen pinnoilta, kuten katoilta ja kaduilta, kiintoainetta, ravinteita ja myrkyllisiä aineita, kuten raskasmetalleja (Ahponen 2005, s. 64). Erityisesti kuivan kauden jälkeinen ensihuuhtouma sisältää runsaasti epäpuhtauksia.

Valtaosa kaupunki- ja taajama-alueilla syntyvistä hulevesistä johdetaan käsittelemättöminä ojia ja putkistoja pitkin suoraan vesistöihin. Ainoastaan vanhojen kantakaupunginosien sekaviemärijärjestelmistä hulevedet johdetaan jätevesien mukana jätevedenpuhdistamolle. (Sario et al. 2005, s.79.)

Huleveden onkin todettu olevan monissa maissa merkittävä vesistön pilaaja ja yhtenä tärkeimmistä hajakuormituksen lähteistä orgaanisen aineksen, raskasmetallien, ravinteiden, saastuneen sedimentin ja patogeenien osalta. Ainepitoisuuksista erityisesti kiintoaineen, kokonaisfosforin ja biologisen hapenkulutuksen pitoisuudet ovat keskimäärin yli kymmenkertaiset verrattuna rakentamattomien alueiden pintavesien ainepitoisuuksiin ja myös suuremmat kuin peltovaltaisten valuma-alueiden pintavesien ainepitoisuudet. Hulevesien ainepitoisuudet ovat korkeimmillaan paitsi sulamiskaudella, myös sateen alussa kuivan jakson jälkeen. (Sario et al. 2005, s. 81.)

Kiintoaineshuuhtoumien ainepitoisuudet vaihtelevat erilaisten kaupunkialueiden välillä. Esimerkiksi moottoritietä tulevan huuhtouman on kirjallisuudessa esitetty olevan 1000-kertainen väljästi rakennetun alueen huuhtoumaan verrattuna. Vaikka moottoriteiden aiheuttama ainehuuhtouma on paikallisesti rajoittunut ja siten ei suoraan verrannollinen väljästi rakennetun alueen ainehuuhtoumaan, se antaa silti kuvan huleveden ainehuuhtouman vaihteluvälistä. (Sario et al. 2005, s. 81.)

Vesistöjä pilaavia vaikutuksia arvioitaessa vesien purkupaikoilla on keskeinen merkitys. Kun käsitelty jätevedet johdetaan yleensä jopa kilometrien päähän rantaviivasta, johdetaan hulevedet tyypillisesti rantaviivalle asutuksen keskelle, mikä aiheuttaa veden samentumista ja raskasmetallien sitoutumista pohjasedimentteihin. (Sario et al. 2005, s. 82.)

Hulevesien puhdistusratkaisut eivät kuitenkaan pitkällä tähtäimellä riitä, vaan tavoitteena pitäisi olla se, ettei haitta-aineita joudu huleveteen lainkaan. On siis tärkeää kiinnittää huomiota erityisesti likaantumista ehkäiseviin toimenpiteisiin, kuten puhtaampien polttoaineiden kehittämiseen ja tiesuolauksen vähentämiseen. (Ahponen 2005, s. 77.)

## **4.3. Hulevesien hallinnan lainsäädäntö**

Vuonna 2001 voimaan tulleen vesihuoltolain mukaan hulevesien ja perustusten kuivatusveden poisjohtaminen ja käsittely kuuluu viemärointiin, josta huolehtii

vesihuoltolaitos. Käytännössä viemärointi tarkoittaa hulevesien poisjohtamista ja purkamista soveliaaseen vesistöön. (Kaatra et al. 2009, s. 55.)

Sademäärien kasvaessa ja kaupunkimaisen rakentamisen yleistyessä ongelmia aiheutuu, kun hulevesiviemäreiden mitoitussuositukset eivät enää riitä käsittelemään kasvavia hulevesimääriä. Lisäksi viemäreitä on kustannussyistä usein mitoitettu suosituksia pienemmiksi. Johtokyvyn kasvattaminen ei ole kuitenkaan mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, vaan hulevesien hallitsemiseksi on otettava käyttöön myös maanpäällisiä rakenteita. Hulevesien hallinnassa onkin haluttu siirtyä kokonaisvaltaiseen hallintaan pelkän viemäriin johtamisen asemesta. (Kaatra et al. 2009, s. 55.)

Vesihuoltolaitosten kannalta laitosten velvoitteiden laajentaminen pelkästä johtamisesta maanpäällisten rakenteiden ja menetelmien suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitämiseen on lähes mahdotonta. Hulevesipalvelujen tarve poikkeaa nimittäin vesihuoltolaitosten talousvesi- ja jätehuoltopalveluista muun muassa siinä, että hulevesipalvelujen tarve riippuu sääilmiöistä eikä niinkään käyttäjistä. Siksi hulevesipalveluja on vaikea järjestää liikelaitosmaisena toimintana varsinkin, kun palvelusta hyötyvät myös kiinteistöt, joita ei ole fyysisesti liitetty hulevesiverkostoon. Hulevesipalvelujen käyttöä myöskään ei voida mitata vesimittarilla, mikä vaikeuttaa asiakkuuden määrittämistä. (Kaatra et al. 2009, s. 55.)

Hulevesien maanpäälliset hallintarakenteen liittyvät myös maankäytön, erityisesti katujen ja yleisten alueiden suunnitteluun, minkä vuoksi rakenteet kuuluvat myös kunnan kaavoitus- ja rakentamisviranomaisten sekä kunnan teknisen toimialan vastuualueeseen. Maaliskuussa vuonna 2009 voimaan tulleissa valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa on kirjattuna, että yleis- ja asemakaavoituksessa on varauduttava myös lisääntyviin rankkasateisiin ja taajamatulviin. (Kaatra et al. 2009, s. 56.) Usealla kunnalla onkin jo oma hulevesien hallintastrategiansa.

Vesihuoltolain tarkistamiseksi maa- ja metsätalousministeriö asetti vuonna 2008 työryhmän selvittämään lain tarkistamistarpeita ja valmistelemaan ehdotukset mahdollisiin säädösmuunnoksiin (Kaatra et al. 2009, s. 7). Hulevesien osalta vesihuoltolain tarkistamistyöryhmän tuli selvittää mahdollisuudet siirtää hulevesien johtamisvastuun vesihuoltolaitokselta kunnalle. Lisäksi haluttiin tietää, edellyttääkö hulevesien hallintarakenteiden toteuttaminen sellaisia oikeuksia ja velvollisuuksia, joiden vuoksi myös maankäyttö- ja rakennuslainsäädäntöä tulisi tarkistaa. (Kaatra et al. 2009, s. 55.)

Työryhmä onkin väliraportissaan (Kaatra et al. 2009) ehdottanut, että hulevesien johtaminen ja käsittely poistetaan vesihuoltolaitosten lakisääteisistä tehtävistä ja vastuu hallinnasta lähinnä asemakaava-alueilla siirtyisi kunnalle maankäyttö- ja rakennuslakiin lisättävien säännösten perusteella. Säännöksissä määriteltäisiin, mitä hulevedellä, niiden hallinnalla ja hallintaan tarkoitettujen rakenteiden kokonaisuudella tarkoitetaan. Hulevesien hallinnasta kiinteistöillä työryhmä ehdotti, että kiinteistön omistaja tai haltija olisi velvollinen huolehtimaan kiinteistönsä hulevesistä. Vaikka kiinteistö liittyisi kunnan hulevesijärjestelmään, on omistaja tai haltija silti vastuussa laitteistosta ja

rakenteista. Hulevesien johtaminen jätevesiviemäriin kiellettäisiin, jollei siihen ole saatu erityistä suostumusta. (Kaatra et al. 2009, s. 56–57.)

Hulevesijärjestelmän toteuttamisesta vesihuoltolain tarkistamisryhmä ehdotti, että kunta olisi velvollinen toteuttamaan hulevesijärjestelmän, kun asemakaavan mukainen maankäyttö edellyttää sitä tai kun hulevedet aiheuttavat laajamittaista ja pysyvää haittaa kiinteistöjen käytölle. Lisäksi ehdotuksessa huomautetaan, etteivät rakentamisesta aiheutuvat kustannukset saa olla kohtuuttomia hulevesistä aiheutuviin haittoihin verrattuna. Hallinnasta aiheutuneet kustannukset kunta voisi periä kiinteistön omistajalta tai haltijalta järjestelmään liittymismaksun ja vuosittaisten maksujen muodossa. (Kaatra et al. 2009, s. 59–65.)

Työryhmä on jättänyt väliraporttinsa vuoden 2009 joulukuussa ja viimeistelee ehdotuksensa lausuntojen perusteella. Ryhmän toimintakausi päättyi 30. huhtikuuta 2010. Lopullinen ehdotus käsiteltäneen vuoden 2010 aikana.

## 5. Hulevesien hallintamenetelmät

Yleinen tapa hallita hulevesiä rakennetuilla alueilla on ollut lähinnä vain johtaa niitä pois alueelta, mikä sademäärien lisääntyessä johtaa tulviin, kun hulevesiviemäreitä ei voida rajattomasti suurentaa. Kun johtokapasiteettia ei voida enää kasvattaa, on harkittava vaihtoehtoisia hulevesien hallintamenetelmiä.

Luonnonmukaisen hulevesien hallinnan pyrkimyksenä on hulevesien hallinta paikallisesti niiden syntyalueilla sekä alueen vesitaseen säilyttäminen mahdollisimman lähellä luonnonmukaista tilaa (Lehtikangas et al. 2005, s. 18). Luonnonmukaisen huleveden käsittelyn tavoitteena on parantaa huleveden laatua, jotta vesistöihin päätyvä vesi olisi laadultaan mahdollisimman lähellä luonnon vettä. Menetelmät perustuvat luonnon omiin prosesseihin huleveden päästessä kosketuksiin maan, ilman, kasvillisuuden ja mikro-organismien kanssa. (Lönngren 2001, Ahposen 2005, s. 65 mukaan.)

Hulevesien hallinnassa voidaan käyttää useampia menetelmiä yhtä aikaa ja niitä voidaan käyttää kiinteistökohtaisesti tai suurempia alueita palvelleen, minkä vuoksi hulevesien käsittelymenetelmien jyrkkä jaottelu on mahdotonta (Hyöty 2007, s. 2). Tässä työssä menetelmät on jaettu karkeasti niiden pääasiallisen tarkoituksensa mukaan, mikä ei tarkoita sitä, etteivätkö ne toimisi myös jossain muussa tarkoituksessa. Esimerkiksi painanteilla voidaan sekä johtaa, imeyttää että viivyttää hulevesiä.

### 5.1. Hulevesien johtaminen

Hulevesien johtamismenetelmät voidaan jakaa pinta- ja putkijärjestelmiin. Pintajärjestelmillä tarkoitetaan avo-ojia, puroja, painanteita, kouruja, kanaaleita tai muita vastaavia maan pinnalla olevia veden johtamismenetelmiä, jotka perustuvat avouomavirtaukseen. Hulevesiviemärit ja salaojat luokitellaan putkijärjestelmiin. (Hyöty 2007, s. 20.)

Huleveden luonnonmukaisessa johtamisessa hulevedet johdetaan kasvillisuuden peittämässä painanteissa tai avo-ojissa hulevesiviemäreiden ja putkiojien sijaan. Kun kasvillisuuspainanne on riittävän pitkä, samoin kuin veden viipymä painanteessa, huleveden laatu paranee kiintoaineen ja siihen kiinnittyneiden aineiden suodattuessa vedestä kasvillisuuden avulla. Kasvien ja maaperän mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta vedestä poistuu myös ravinteita ja muita epäpuhtauksia. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 66 mukaan.)

Veden viipymää voidaan kasvattaa virtausnopeutta pienentämällä, mikä onnistuu esimerkiksi rakentamalla hidastus- ja imeytysaltaita painanteen yhteyteen. Myös tiheä kasvillisuus ja uoman poikkileikkauksen epäsäännöllinen muoto hidastavat virtausta. Virtausnopeuden hidastuessa myös virtaamahuiput pienentyvät ja eroosioriski pienenee. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 66 mukaan.)

## **5.2. Hulevesien vähentäminen**

Hulevesiä vähentäviä erilaisia rakenteellisia ratkaisuja ovat esimerkiksi imeytysrakenteet, jotka vähentävät hulevesien määrää sekä läpäisevät päällysteet ja viherkatot, joilla ehkäistään hulevesien muodostusta (Hyöty 2007, s. 5). Hulevesien luonnonmukaisella hallinnalla pyritään säilyttämään alueen luonnollinen vesitase, minkä vuoksi imeyttämistä suositellaan ensisijaisesti hulevesien käsittelyyn. (Lehtikangas et al. 2005, s. 18.)

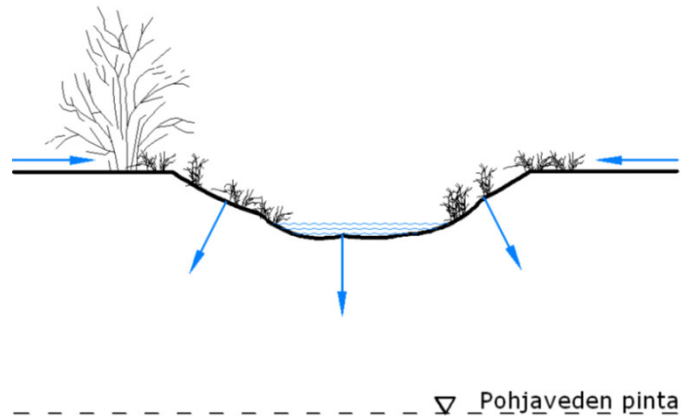
Imeyttäminen vähentää huleveden määrää johtamis- ja viivytysrakenteissa, kun vettä imeytyy ympäröivään maaperään. Hulevedet voidaan kerätä imeytysrakenteisiin hajautetusti, jolloin vedet johdetaan vain pieneltä alueelta kuten yhdeltä katolta tai tontilta tai keskitetysti, jolloin hulevesiä johdetaan laajemmalta valuma-alueelta. (Hyöty 2007, s. 13.)

Yksinkertaisin tapa imeyttää hulevettä on johtaa vesi loivasti kaltevan kasvillisuuden peittämän pinnan yli, mistä vesi lopulta imeytyy maahan. Kasvillisuus pidättää kiintoainesta ja maaperän mikrobitoiminta vaikuttaa puhdistavasti huleveteen. (Larm et al. 1999, Ahposen 2005 s. 67 mukaan.)

### **5.2.1. Imeytyspainanne**

Imeytyspainanne tai -allas voidaan rakentaa maan pinnalle tai maan alle. Maan pinnalla olevaa matalaa syvennystä tai painannetta, johon hulevedet johdetaan, kutsutaan myös sadepuutarhaksi. Painanteessa oleva kasvillisuus pitää maan paitsi huokoisena ja hyvin vettä läpäisevänä myös pidättää vedestä ravinteita. (Ahponen 2005, s. 67.)

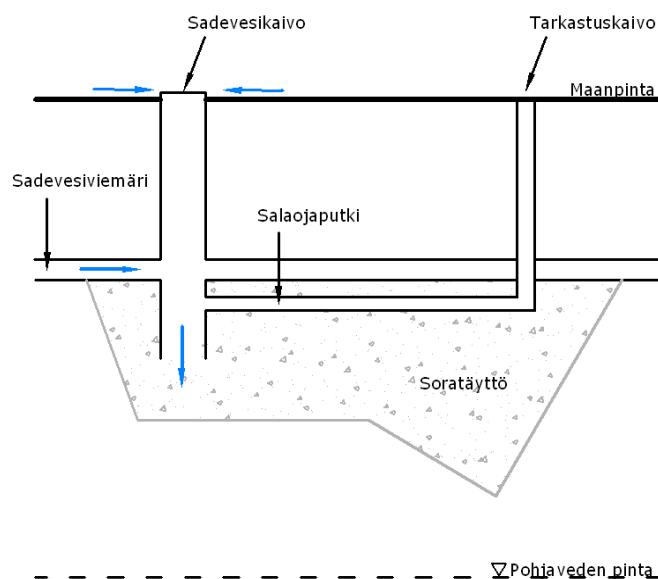
Kuvassa 5.1. on esitetty, kuinka hulevesi imeytyy maanpäällisestä imeytyspainanteesta maaperään ja osa vedestä mahdollisesti pohjaveteen saakka. Painanne pidentää huleveden viipymää, pienentää tulvahuippuja ja ylläpitää pohjavesivarastoja. Maakerrosten läpi suodattuessaan veden laatu paranee. Erityisen hyvä haitallisten aineiden ja ravinteiden pidätyskyky on savea tai humusta sisältävällä maaperällä, koska savimineraaleilla ja humuksella on taipumus sitoa vedestä muun muassa metalleja ja ravinteita. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 66–67 mukaan.) Toisaalta tiivis savimaa on epäedullista hulevesien luonnolliselle imeyttämiselle. Siksi savimineraaleista saatava hyöty edellyttää vähäistä saven osuutta maaperässä. Paljon hienoaainesta sisältävä moreeni ei myöskään sovellu hulevesien imeyttämiseen.



**Kuva 5.1.** Periaatepiirros maanpäällisen imeytyspainanteen toiminnasta. Kuva ei ole mittakaavassa.

Jos maan pinnalla ei ole tilaa tai maan pintakerros on huonosti vettä läpäisevää, voidaan imeytyspainanne sijoittaa maan alle altaana, kuten kuvassa 5.2. Tällöin maahan tehdään kaivanto, joka täytetään karkealla maa-aineksella kuten soralla tai louheella. (Bingman 1983, Ahposen 2005, s. 68 mukaan). Vesi johdetaan rakenteeseen joko hulevesikaivojen, läpäisevän päällysteen tai jonkin muun hyvin vettä läpäisevän pinnan kautta. Kun vesi on suodattunut kaivannon läpi, se jatkaa imeytymistä ympäröivään maaperään. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 67 mukaan.)

Toimintaperiaatteiltaan imeytysaltaita on erilaisia. Kuvan 5.2. allas kuvaa tyyppiä, jossa suurin osa altaaseen johdettavasta vedestä imeytyy maahan. Altaan täyttymisen varalta rakenteeseen on kuitenkin lisätty ylivuodon mahdollisuus. Jollei ylivuotoa olisi, kaikki altaaseen johdettava vesi imeytyisi maahan. (Leminen 1985, s. 19.)



**Kuva 5.2.** Periaatepiirros maanalaisen imeytysaltaan toiminnasta. Kuva ei ole mittakaavassa.



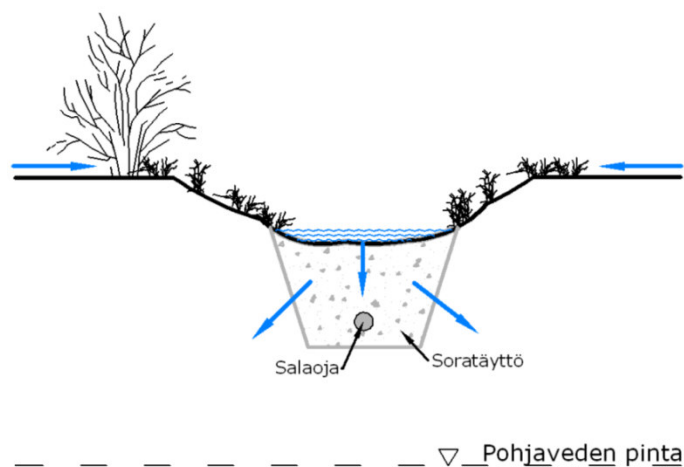
Jos ylivuotoreitti on puolestaan rakennettu imeytysaltaan keski- tai alaosaan, voidaan ylivuodolla säännöstellä vedenkorkeutta altaassa. Tällöin imeytysallas toimii pikemminkin virtaamien tasaajana kuin imeyttämistarkoituksessa. Imeytysallasta voidaan käyttää myös kevyesti mitoitettun hulevesivesiviemärin ylivuotona. Tässä tapauksessa altaaseen johdetaan vettä vain hulevesien huippuvirtaamien aikana. (Leminen 1985, s. 19.)

Maanalaisessa rakenteessa voidaan käyttää rei'itettyä salaojaputkea tehostamaan vedenjakautumista maaperään (Ferguson 1998, Ahponen 2005, s. 67). Maanalaiset imeytysrakenteet tulisi sijoittaa Suomessa aina routarajan alapuolelle ja rakentaa niihin liittyvät kaivot tarpeeksi syviksi roudan takia (Ahponen 2005, s. 77). Luonnon täytemateriaalin sijaan maanalaisissa rakenteissa voidaan käyttää myös maanalaiseen imeytykseen ja viivytykseen kehitettyjä hulevesikasetteja.

### 5.2.2. Imeytysoja

Imeytysojat ovat yleensä karkealla maa-aineksella kuten soralla täytettyjä ojia, joiden täytemateriaalin huokostilaan hulevedet varastoituvat, kunnes imeytyvät ympäröivään maaperään. Yleensä imeytysojat toteutetaan avoratkaisuina, jolloin hulevedet johdetaan ojiin pintavaluntana, mutta ne voidaan toteuttaa myös maanalaisina kaivantoina. Tällöin hulevedet johtuvat kaivantoon hulevesiviemäreistä tai salaojista. (Hyöty 2007, s. 13.) Maanalaisissa imeytysojissa voidaan käyttää myös muovisia hulevesitunneleita, jotka toimintaperiaatteeltaan vastaavat hulevesikasetteja.

Kun yhdistetään maanpäälliset imeytysaltaat ja maanalaiset imeytysojat, saadaan yhdistettyä altain puhdistusvaikutus ja ojien varastointi- ja imeytysominaisuudet. Kuvan 5.3. mukaisesti hulevesi imeytyy altaasta esimerkiksi soralla täytettyyn kaivantoon, josta se imeytyy edelleen maaperään. Kaivannon alaosaan voidaan sijoittaa salaojaputki, joka altaan ylivuototilanteessa johtaa veden ylivuotokaivoon. (König 1996, Ahposen 2005, s. 68 mukaan.)



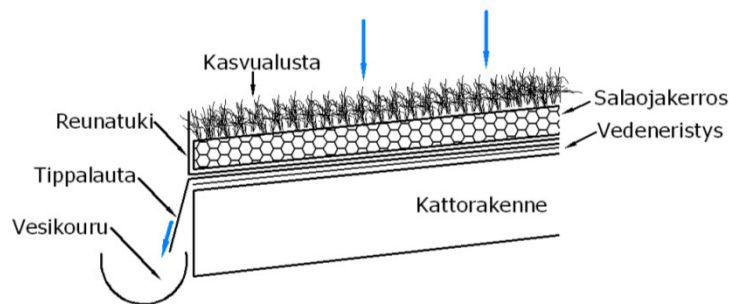
**Kuva 5.3.** Periaatepiirros yhdistetyn maanpäällisen imeytysaltaan ja maanalaisen imeytysojan toiminnasta. Kuva ei ole mittakaavassa.

Rakenteen alla oleva ojitusjärjestelmä edesauttaa maaperän kuivumista talviolosuhteissa ja ehkäisee roudan syntymistä (Ahponen 2005, s. 72 taulukko 3). Yhdistelmärakenteita on mahdollista sijoittaa useita peräkkäin, jolloin saadaan yhtenäinen hulevesien imeyttämislinja, mikä puolestaan voi ainakin osittain korvata perinteisen hulevesiviemäroinnin (König 1996, Ahponen 2005, s. 68 mukaan).

### 5.2.3. Viherkatot

Katoille satavia vesiä on mahdollista imeyttää niin kutsuttujen viherkattojen avulla. Viherkatolla voidaan tarkoittaa matalaa, mattomaista viherpintaa tai kattopuutarhaa, jossa voi olla jopa oleskelupaikkoja.

Kuvassa 5.4. esitetty viherkaton rakenne voidaan jakaa karkeasti kolmeen kerrokseen: kasvualustaan, salaojakerrokseen ja vedeneristykseen (Kattoliitto ry). Katoille tuleva sadevesi varastoituu kasvillisuuskerrokseen ja haihtuu joko suoraan tai kasvillisuuden käyttämänä. Ylimääräinen vesi valuu kasvillisuuskerrosten läpi salaojakerrokseen ja johdetaan siitä edelleen normaaleilla vesikouruilla ja syöksyputkilla. (Hyöty 2007, s. 9.)



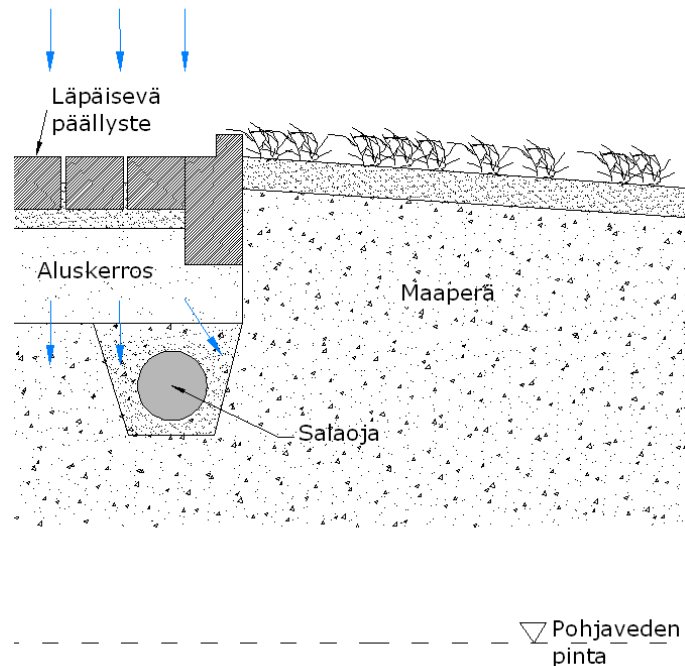
**Kuva 5.4.** Periaatepiirros viherkaton rakenteesta. Kuva ei ole mittakaavassa.

Kasvialustan ja salaojakerroksen paksuudet riippuvat siitä, onko kyseessä yksinkertainen viherkatto vai vaativampi kattopuutarha (Kattoliitto ry). Kasvillisuus voi olla joko laaja-alaista ja ohutta tai keskittynyt pienemmälle alalle vastaavasti paksumpana kerrospaksuutena (Hyöty 2007, s. 9).

### 5.2.4. Läpäisevät päällysteet

Läpäisevät päällystemateriaalit vähentävät huleveden kokonaismäärää, hidastavat virtaamia sekä lisäävät pohjaveden muodostumista (Hyöty 2007, s. 5). Kuvassa 5.5. on esitetty läpäisevän päällystemateriaalin toimintaperiaate. Läpäisevä päällysmateriaali läpäisee vettä koostumuksensa ansiosta ja suodattaa veden aluskerrokseen, johon se hetkellisesti varastoituu. Huleveden kiintoaines imeytyy aluskerrokseen, josta vesi

edelleen imeytyy ympäröivään maaperään. Rakenne vaatii salaojituksen ylimääräisen veden poisjohtamiseksi. (Larm et al. 1999, Ahposen 2005, s. 68 mukaan.)



**Kuva 5.5.** Periaatepiirros läpäisevän päällystemateriaalin toiminnasta. Kuva ei ole mittakaavassa.

Pintakerroksen materiaalina voidaan käyttää rei'itettyjä betonilaattoja, avointa asfalttia tai harvaa kivetystä. Eräs mahdollisuus on myös muoviset, toisiinsa kytkettävät kennorakenteet, jotka nurmetetaan tai täytetään soralla. (Hyöty 2007, s. 5.)

### 5.3. Hulevesien viivyttäminen

Hulevesien viivyttämisellä tarkoitetaan pintavalunnan jakamista pitkälle ajanjaksolle (Hyöty 2007, s. 1). Viivytyksen menetelmien tarkoituksena on varastoida vettä tietyksi aikaa ja vapauttaa sitä vähitellen tulovirtaaman loppumisen jälkeen (Hyöty 2007, s. 31).

#### 5.3.1. Viivytyksaltaat, -painanteet ja -kaivannot

Hulevettä voidaan viivyttää varastoimalla sitä viivytyksaltaaseen, josta osa tai kaikki vedestä lasketaan pois halutulla nopeudella. Ulosvirtausta säädellään yleensä padon avulla. Altaassa voi olla pysyvä vesivarasto, tai se voi tyhjentyä sadetapahtuman jälkeen kokonaan. Pysyvänä vesivarastona käytettävää allasta voidaan käyttää virkistyskäyttöön. Se on myös esteettisempi kuin tyhjänä oleva allas. Jos tilaa riittää, muotoillaan altaasta laaja ja matala, mikä luo altaaseen kosteikkomaisen ympäristön. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 69–70 mukaan.)

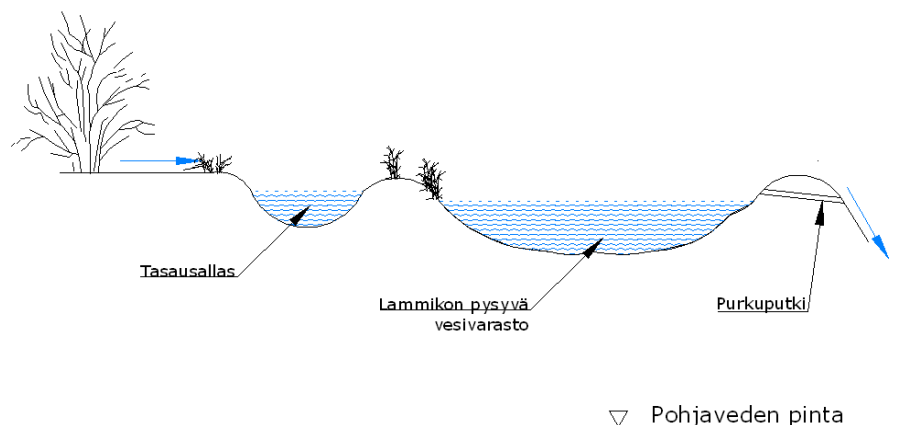
Viivytyksalta voidaan pienentää virtaamahuippuja ja kasvattaa huleveden viipymää. Altaat mitoitetaan usein toistuvan, suhteellisen pienen sateen mukaan, koska usein toistuvista, pienistä sateista aiheutuvan hulevesivirtaaman mukana tuleva ainekuormitus vaikuttaa veden laatuun enemmän kuin harvoin sattuvien, suurten sateiden. (Ferguson 1998, Ahposen 2005, s. 70 mukaan.)

### 5.3.2. Kosteikkokäsittely ja lammikot

Luonnontilainen kosteikko on ainakin ajoittain joko kokonaan tai osittain veden peittämä. Alue on yleensä matala, jossa pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa. Myös keinotekoisia kosteikkoja voidaan käyttää hulevesien käsittelyyn. (Lundberg & Lindman 1994, Ahposen 2005, s. 70 mukaan.) Kosteikossa on tyypillisesti runsaasti vesistö- ja kosteikkokasvillisuutta. Siihen liittyvä avovesipintainen alue on usein syvä, vaikka keskisyvyys onkin yleensä vain muutamia kymmeniä senttejä. (Lehtikangas et al. 2005, s. 18.)

Kosteikkokäsittelyssä yhdistyvät virtaamahuippujen pienentyminen, huleveden viipymän lisääntyminen, kiintoaineiden laskeutuminen ja huleveden puhdistuminen mikrobiologisesti. Kosteikoissa kiintoaineiden laskeutumista tehostavat kasvit, jotka hidastavat myös virtausnopeutta ja tehostavat sedimentaatiota sekä sitovat vedestä liukoista typpeä ja fosforia ravinteeksi. Kiintoaineiden mukana pidättyy maahiukkasiin kiinnittyneitä raskasmetalleja ja osa fosforista. (Puustinen et al. 2000, Ahposen 2005, s. 70–71 mukaan.)

Luonnonmukaisissa hulevesilammikoissa on pysyvä avovesipintainen alue, jonka yläpuolella on väliaikaista huleveden varastointitilaa. Lammikot on varustettava purkuputkella ja -padolla (kuva 5.6.). Rakennettujen hulevesilammikoiden pysyvä avovesipinta edellyttää sijaintia alueella, jonne virtaa säännöllisesti vettä.



**Kuva 5.6.** Periaatepiirros hulevesilammikon rakenteesta. Kuva ei ole mittakaavassa.

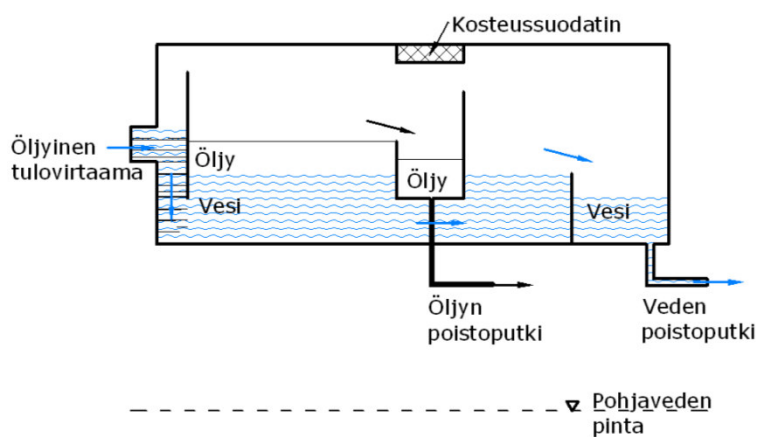
Pysyvää lammikkoa ympäröi yleensä runsas kasvillisuus. Lammikoiden yhteydessä voi olla myös tasausallas, jolla tasataan lammikkoon tulevaa virtaamia. (Hyöty 2007, s. 33.) Tasausallas parantaa myös lammikkoon johtuvan veden laatua.

## 5.4. Hulevesien muu käsittely

Luonnonmukaisten käsittelymenetelmien lisäksi on olemassa muitakin ratkaisuja. Vaikka ratkaisut eivät sinänsä ole välttämättä kovin luonnonmukaisia, voidaan niiden avulla silti muun muassa parantaa huleveden laatua. (Ahponen 2005, s. 75.)

### 5.4.1. Öljynerotin

Öljynerottimilla esikäsitellään hyvin likaisia, esimerkiksi katualueiden öljypitoisia hulevesiä. Öljynerottimia on erilaisia, mutta niiden toimintaperiaate on samantapainen. Erottimissa hulevesi johdetaan erotinaltaaseen, jossa öljy vettä kevyempänä nousee veden pinnalle. Kun vedessä olevat muut partikkelit ovat laskeutuneet alaan pohjalle, voidaan puhdistunut vesi johtaa altaan toisesta päästä pois. Erotinaltaat ovat umpinaisia, ja ne ovat usein maan alla, jolloin vesi on helppo johtaa niihin. Öljynerottimen jälkeen vesi voidaan johtaa muuhun käsittelyyn. (Larm et al. 1999, Ahponen 2005, s. 75.) Öljynerottimen toimintamalli on esitetty kuvassa 5.7.

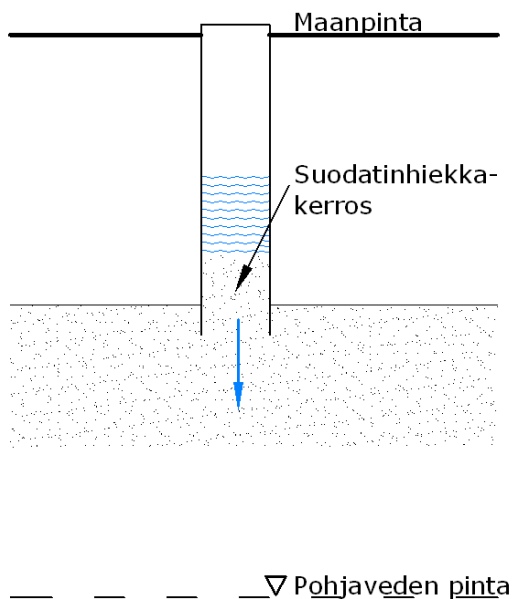


**Kuva 5.7.** Periaatepiirros maanalaisesta öljyn erotinaltaasta. Vettä kevyempänä öljy nousee veden pinnalle, ja se voidaan erottaa erilliseen astiaan. Kosteussuodatin säiliössä kerää muodostuvat vesihöyryn. Kuva ei ole mittakaavassa.

Öljynerottimet on oltava muun muassa autokorjaamoissa, konehuoneissa, maalaamoissa, autojen pesupaikoilla sekä yli 40 neliömetrin autosuojissa (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, s. 54, taulukko 1).

### 5.4.2. Suodatinkaivot

Suodatin- tai imeytyskaivoista on erilaisia ratkaisumalleja, kuten kuvassa 5.8. esitetty, niin kutsuttu pohjaton kaivo, josta vesi suodattuu pohjalla olevan noin 50 cm paksun sora- tai suodatinhiekkakerroksen läpi (Puustinen et al. 2000, Ahponen 2005, s. 75). Suodatinkaivo voi olla myös alaosaan reiällinen, pohjallinen putki, josta vesi suodattuu kaivon ympärillä ja alla olevaan soraan tai hiekkaan (Larm et al. 1999, Ahponen 2005, s. 75 mukaan).



**Kuva 5.8.** Periaatepiirros pohjattomasta kaivosta. Pohjattomassa kaivossa kiintoaines jää suodatinhiekkään veden suodattuessa siitä läpi. Kuva ei ole mittakaavassa.

Putkimallin suodatinkaivossa kiintoainepartikkelit ja niihin kiinnittyneet hiukkaset laskeutuvat putken pohjalle veden suodattuessa putken alaosan rei'istä ympäröivään hiekkamaahan (Larm et al. 1999, Ahponen 2005, s. 75 mukaan). Pohjattomassa kaivossa kiintoainepartikkelit ja niihin kiinnittyneet aineet jäävät suodatinhiekkään. Pohjattoman kaivon suodatinkerroksen yläreuna tulisi olla vähintään 1,5 m korkeinta pohjavedenpintaa ylempänä. Vaikka pohjaveden pinta on syvällä ja maaperä huonosti vettä läpäisevää, soveltuvat suodatinkaivot silti kyseisen kaltaisille alueille. (König 1996, Ahponen 2005, s. 75 mukaan.)

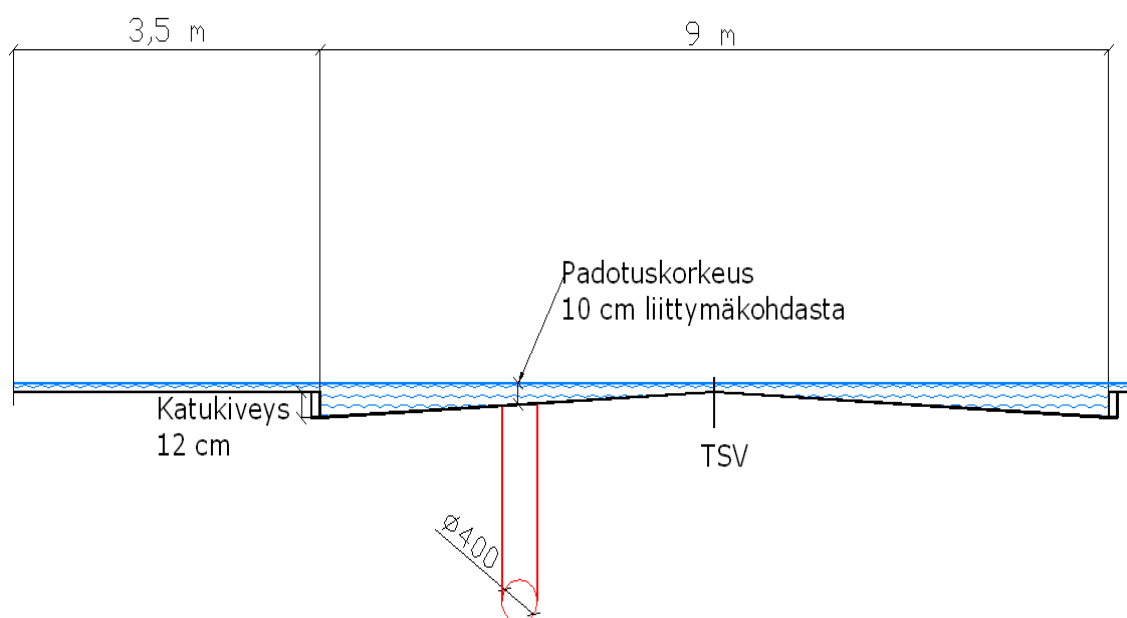
### 5.4.3. Kaivosuodatin

Kaivosuodatin asennetaan perinteiseen hulevesikaivoon. Suodattimen rei'itetty osa suodattaa karkean kiintoaineksen ja geotekstiili kaivoon tulevan huleveden hienoaineen. Suodatinmateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi aktiivihieiltä, polypropyleeniä, selluloosamateriaalia tai rakeista turvetta. (Ahponen 2003, s. 76.)

#### 5.4.4. Hulevesikaivojen paikan merkitys katualueilla tulvatilanteissa

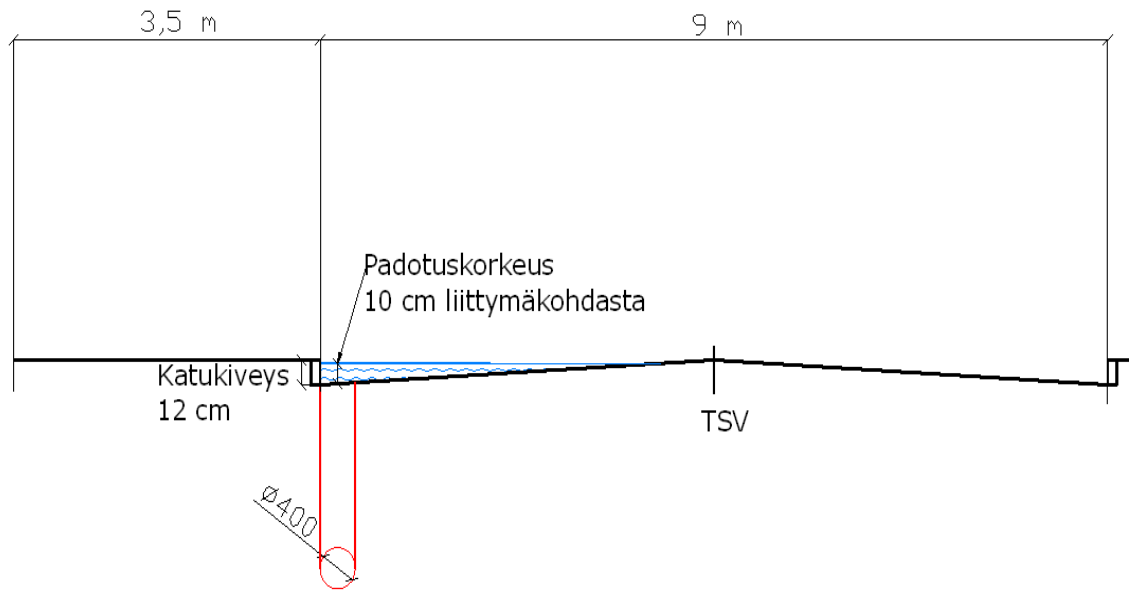
Hulevesikaivojen paikalla katualueella on merkitystä lähinnä katualueen kuivatuksessa ja viemäritulvatilanteissa, kun hulevesi tulvii viemäriverkostosta kaivojen kautta katualueelle.

Hulevesikaivojen normaali padotuskorkeus eli korkeustaso, jolle vesi voi hetkellisesti nousta (Kuusamon energia ja vesi), on 10 cm. Jos hulevesikaivot asennetaan katualueen keskelle, (kuva 5.9.), valuu vesi viemäritulvatilanteessa ensin katualueen alimpaan kohtaan, kevyenliikenteenväylän katukiveyksen viereen. Tilanteessa, jossa kaivon patokorkeus saavutetaan, vesi on jo levinnyt koko katualueelle ja kevyenliikenteenväylälle. Myös katualueen kuivatus toimii kuvan 5.9. mukaisessa tilanteessa huonosti. Kun hulevesikaivoa ei ole sijoitettu katualueen alimpaan kohtaan, kerääntyy vesi katukiveyksen viereen.



**Kuva 5.9.** Periaatepiirros hulevesikaivon sijoittamisesta keskelle katualuetta. Kuvassa on esitetty 3,5 m levyinen kevyenliikenteenväylä ja 9 m levyinen katualue. Katualueen tasausviiva on merkitty kuvaan lyhenteellä TSV.

Jos puolestaan hulevesikaivot sijoitetaan katualueen alimpaan kohtaan eli katukiveyksen reunaan, (kuva 5.10.), ei vesi pääse viemäritulvan sattuessa leviämään koko katutilan alueelle.



**Kuva 5.10.** Periaatepiirros hulevesikaivon sijoittamisesta katualueen reunaan. Kuvassa on esitetty 3,5 m levyinen kevyenliikenteenväylä ja 9 m levyinen katualue. Katualueen tasausviiva on merkitty kuvaan lyhenteellä TSV.

Myös katualueen kuivatus toimii paremmin, kun hulevedet valuttuaan katukiveyksen viereen, johtuvat suoraan hulevesiviemäriin.



## 6. Hulevesien hallintamenetelmien toimivuus rakennetuilla alueilla

Ideaalitapauksessa hulevedet käsitellään syntypaikoillaan, jolloin tarvetta myöhempään käsittelyyn ei juuri synny. Syntypaikkakäsittely on helpointa järjestää rakentuvilla asuinalueilla, jolloin jo kaavoitusvaiheessa voidaan varata tilaa esimerkiksi viivytyslaitteille tai kirjata tonteille vaateet hulevesien käsittelystä.

Hulevesien hallintaan alettiin kiinnittää huomiota Suomessa 1980-luvulla, kun Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) aloitti Suomen itsenäisyyden juhluvuoden rahaston SITRAn rahoittamana kevennetyn kunnallistekniikan koerakentamis- ja tutkimushankkeita pientaloalueilla eri puolilla Suomea (Huttunen et al. 1985, s. 5). Hankkeissa tutkittiin muun muassa imeyttävää kuivatustekniikkaa, jolla tavoiteltiin lähinnä pohjavesitasapainon säilyttämistä ja kustannussäästöjä vähentämällä hulevesiviemäriin johtuvien vesien määrää ja sen johdosta pienentämällä putkikokoja (Inha 2010).

Rakennetuilla alueilla hulevesien käsittely syntypaikoillaan on haasteellista muun muassa tilanpuutteen ja päällystettyjen pintojen paljouden takia. Vaasassa alkoi vuonna 1999 kolmivuotinen tutkimusprojekti Vital Vaasa, jonka tarkoituksena oli testata ja kehittää veden kierron elvyttämisen menetelmiä kaupunkiympäristössä ja vähentää hulevesikuormitusta.

Hulevesien hallintaan perehdytään myös vuonna 2008 alkaneessa, Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamassa Stormwater-ohjelmassa, jossa tutkitaan poikkitieteellisen akateemisen tutkimuksen keinoin huleveden määrää, laatua ja ympäristökuormitusta Etelä-Suomen eri pilottihankkeissa. Lisäksi ohjelmassa pohditaan hulevesiin liittyviä vastuukysymyksiä ja juridiikkaa. Hankkeen tavoitteena on myös lisätä alan verkostoitumista ja selvittää ratkaisujen kaupallisia mahdollisuuksia. Hanke on käynnissä vuoden 2011 lokakuuhun asti. (Stormwater-hanke, Lahden kaupunki.)

Erityisesti rakennetuilla alueilla hulevesien hallintamenetelmiä suunniteltaessa on hyvä muistaa, etteivät keskimääräisille sateille mitoitettut hulevesirakenteet poista kuitenkaan tulvareittien suunnittelua. Tulvareiteillä voidaan varautua harvinaisempiin rankkasateisiin, joita varten on kaupunkialueille turha mitoittaa valtavia hulevesirakenteita.

### 6.1. Hulevesien johtaminen

Hulevesien johtamista maan pinnalla suositellaan alueille, joissa maankäyttö ja rakentaminen ovat väljää, sillä laajempia valuma-alueita palvelevat pintajärjestelmät

edellyttävät aina tilavarauksen viher- tai katualueilta (Hyöty 2007, s. 20). Esimerkiksi Vital Vaasa -hankkeen yhteydessä toteutetussa Tiilitehtaankadun ratkaisussa (kuva 6.1.) viherpainanteiden lisääminen katualueella onnistui, koska alue oli väljästi rakennettu. Tiivistä rakennetuilla alueilla pintajohtamista voidaan hyödyntää kiinteistö- ja tonttikohtaisesti, jolloin johtaminen palvelee pienempää valuma-aluetta (Hyöty 2007, s. 20).

Tiilitehtaankadulla keskustan katualueiden hulevesiä johdetaan nupukivikouruja pitkin viherpainanteisiin. Katualueilla on kuitenkin myös perinteinen hulevesiviemäröinti suurempien vesimäärien käsittelyyn.



**Kuva 6.1.** Tiilitehtaankadun viherpainanteita Vaasan Palosaaressa. (Google StreetView 2010a)

Kouruja ja kivettyjä painanteita voidaankin käyttää pienten hulevesimäärien johtamiseen. Pintavalunnan johtamiseen suositellaan matalia ja loivaluiskaisia nurmetettuja painanteita. Suuremmille vesimäärille syvemmät ja jyrkkäluiskaisemmat, eroosiosuojatut painanteet ja avo-ojat toimivat paremmin. Tällaisia ojia voidaan käyttää myös kuivatuksessa johtamalla niihin salaojavesiä. (Hyöty 2007, s. 20–21). Jos alueella on suuri eroosion riski, on parempi käyttää kivetettyjä painanteita ja kouruja (Stahre 2006, s. 32). Lisäksi erityisesti painanteiden suunnittelussa on huomioitava, että viereinen, usein päällystetty pinta on kaadossa painanteeseen päin, jolloin vedet pääsevät valumaan painanteeseen (Stahre 2006, s. 50).

Johtamismenetelmien toiminnan kannalta tärkeintä on pitää virtausreitit puhtaina ja toimintakykyisinä, mikä onnistuu säännöllisillä huoltotoimenpiteillä (Hyöty 2007, s. 29). Huoltotoimenpiteitä ovat esimerkiksi roskien poisto, kasvillisuuden kunnossapito ja

ruohon leikkuu. Huoltotoimenpiteisiin on kiinnitettävä huomiota jo suunnitteluvaiheessa, jotta ne ovat mahdollista toteuttaa. (Hyöty 2007, s. 28.)

Suunnittelukeskus Oy:n ohjeiden mukaan seuranta ja huoltoa eli pinta- ja patorakenteiden tarkastamista ja roskien siivoamista suositellaan tehtäväksi ainakin kahdesti vuodessa. Kasvukerrokseen on lisättävä multaa ja kuolleiden kasvien tilalle istutettava uusia tarpeen mukaan. Patojen purkurakenteiden kohdalta roskat ja kiintoaines on kuitenkin poistettava aina, kun tukkeutumisen vaara on olemassa. (Hyöty 2007, s. 29.)

Ensisijaisesti johtamismenetelmät on tarkoitettu hulevesien hallittuun johtamiseen. Painanteilla voidaan kuitenkin myös imeyttää ja viivyttää hulevesiä rakentamalla suurempiin painanteisiin esimerkiksi patorakenteita tai kosteikkoalueilla. Kosteikoilla ja patorakenteiden muodostamalla lammilla on alueelle usein myös maisemallista arvoa. (Hyöty 2007, s. 20–21, 28). Patojen käyttämisestä puoltaa niiden vaikutus virtaaman vähentymiseen, imeytymisen lisääntymiseen ja epäpuhtauksien poistumiseen (Hyöty 2007, s. 28). Vaasassa pieniin painanteisiin istutettiin syväjuurisia puita vettä pidättämään.

Hämeenlinnan kevennetyn kunnallistekniikan koerakentamishankkeissa kokeiltiin 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa myös hulevesien hallintaa. Hankkeessa tehtiin avo-ojiin lasketusaltaita ja kosteikkoja. Alun perin altaat ja kosteikot oli suunniteltu lähinnä ravinteiden pysäyttämiseksi, mutta ne toimivat myös virtaamien tasaajina. Hämeenlinnan kaupungin toimialajohtajan Jouko Kettusen (2009) mukaan avo-ojat ovat toimineet hyvin sekä ravinteiden pysäyttamisessä että virtaamien tasaamisessa.

Vanhaan tapaan Hämeenlinnan omakotialueilla ajoratojen reunoja ei ollut rajattu reunakivellä, vaan vesi sai vapaasti valua ja imeytyä tien molemmin puolin oleviin nurmetettuihin ojapainanteisiin. Vaikka ojapainanteet eivät olekaan varsinaisia oja, niissä on silti hulevesikaivoja. Käytännössä kaivoihin tulee kuitenkin vettä vain rankkasateella ja keväällä, kun maa on jäässä. (Kettunen 2009.)

Vuonna 2008 Hämeenlinnan Sammon alueelle rakennettiin kuvassa 6.2. näkyvä avo-oja laajan alueen kuivatuksen hallitsemiseksi. "Perinteisellä tavalla rakennettuna tällainen 4 metriä syvä ja 20 metriä leveä oja ei olisi sopinut kaupunkikuvaan, mutta siitä tehtiinkin alueen vetonaula – upea vesipuisto", kertoo Kettunen (2009).



**Kuva 6.2.** Sammon alueen hulevesien kuivatusoja maisemoitiin kauniisti Hämeenlinnassa. (Siitarinen 2009)

Hulevesien johtamismenetelmien kustannukset poikkeavat toisistaan sen mukaan, mitä pintamateriaaleja, rakennetta ja esikäsittelymenetelmiä on käytetty (Hyöty 2007, s. 30). Sammonojan tapauksessa maisemoitu avo-oja ei tullut merkittävästi kalliimmaksi kuin perinteinen ojavaihtoehto, koska maatoiden määrä oli lähes sama.

Rakentamiskustannusten lisäksi johtamisratkaisuja koskevat vielä kunnossapitokustannukset (Hyöty 2007, s. 30). Kun kunnossapidosta huolehditaan, voidaan avoimien johtamismenetelmien eliniäksi arvioida yli 20 vuotta (Larm 1994, s. 147).

Yleisesti johtamismenetelmät ovat melko edullisia verrattuna muihin hulevesien käsittelyrakenteisiin. Ne ovat ainakin yksinkertaisimmillaan mahdollista toteuttaa hyvin edullisesti. Avouomamenetelmiä ei kuitenkaan suositella sellaisenaan alueille, joiden huleveden sisältävät paljon epäpuhtauksia, etenkin pohjavesialueilla (Larm 1994, s. 147).

### *6.1.1. Talviolosuhteiden vaikutus hulevesien johtamiseen*

Talviolosuhteilla ei ole juurikaan merkitystä kivetettyjen painanteiden ja vastaavien rakenteiden toimintaan. Kuten kuvan 6.3. Coloradon esimerkistä nähdään, lumi saattaa kyllä aiheuttaa tukkeumia ja heikentää veden johtamiskykyä, mutta esimerkiksi jääpeitettä ei muodostu, koska rakenteet eivät pidätä vettä. (Hyöty 2007, s. 29.)





**Kuva 6.3.** Viherpainanteita talvisessa Coloradossa. Lumen sulaessa vedet valuvat painanteisiin. Ylikulkureittien rummut hidastavat veden virtausnopeutta.(SUDSnet a)

Sen sijaan viherpainanteiden imeytysominaisuudet eivät toimi talvisin maan ollessa jäässä. Painanteita voidaan kyllä käyttää esimerkiksi lumenläjitystilana. Tällöin painanteet olisi hyvä suunnitella niin, että läjitys voidaan sijoittaa painanteen toiselle luiskalle. Kun painanteen pohja pysyy auki, virtausreitti säilyy avoimena, minkä vuoksi lumen sulaessa vedet valuvat painanteeseen eivätkä tulvi kaduille. (Hyöty 2007, s. 29.)

## 6.2. Hulevesien vähentäminen

Hulevesiä voidaan vähentää imeyttämällä, mikä riippuu hyvin paljon kohdealueesta, erityisesti sen geohydrologisista olosuhteista. Esimerkiksi alavat savimaat ovat erittäin vaativia, sellaisenaan jopa mahdottomia imeytyskohteita. (Leminen, 1986b.)

Imeyttämismenetelmät sopivat parhaiten käytettäväksi valuma-alueen yläosissa, missä imeytymistä tapahtuu luonnostaankin (Ahponen 2005, s. 76). On kuitenkin muistettava, ettei imeytyksellä voida "hävittää" vettä maan alle. Imeytynyt vesi kulkeutuu maaperässä edelleen, joko pohjavesivirtauksena tai kasvien haihduttamana. Jos hulevesiä imeytetään jatkuvasti alueella, jossa ei ole vettä hyödyntävää kasvillisuutta tai pohjavesiallas ei pysty vastaanottamaan ja kuljettamaan vettä, voi alue soistua nopeasti. Tyypillisiä hyviä imeytysalueita ovat esimerkiksi ylävät maaston alueet, jotka sijoittuvat vedenjakajille ja niiden ympäristöön. Hyvien imeytysalueiden maaperä on hyvin vettä läpäisevää, kuten sora tai hiekkamaata ja alueella on kuiviin olosuhteisiin sopeutunutta kasvillisuutta, mikä kertoo siitä, ettei maaperä ole kyllästynyt vedellä. (Leminen 1985, s. 26–27.)

Imeytettäessä erityisen likaisia hulevesiä, esimerkiksi katualueilta, on otettava huomioon pohjaveden ja pohjavesialueiden likaantumiseriski (Ahponen 2005, s. 76).

Menetelmiä ei suositellakaan alueille, joiden hulevedet sisältävät runsaasti liukoisia epäpuhtauksia tai alueella on olemassa kemikaalipäästöjen riski. Jos valuma-alue on pohjavesialuetta, ainoastaan kattovesiä tulisi imeyttää. (Hyöty 2007, s. 18). Likaisia hulevesiä on mahdollista esikäsitellä ennen varsinaista imeytystä esimerkiksi tasausaltaassa tai johtaa ne puskurivyöhykkeen läpi, joka pidättää epäpuhtaudet (Hyöty 2007, s. 13).

Imeytysrakenteiden pohjan tulisi olla lähes tasainen ja rakenteen ja pohjaveden pinnan välisen etäisyyden vähintään yksi metri. Imeytysmenetelmiä ei suositella rakennettavaksi hiljattain täytetylle tai tiivistetylle pohjamaalle. Valuma-alueen pinta-alaksi suositellaan noin 4 hehtaaria. Imeytysrakenne tulisi toteuttaa rakentamisen loppuvaiheessa ja suojata se rakentamisen aikaiselta kiintoainekuormitukselta (Hyöty 2007, s. 18), koska runsas kiintoainesaattaa tukkia imeytysrakenteen.

### *6.2.1. Imeytyspainanne*

Imeytyspainannetta ei voida käyttää, jos pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa tai jos maaperän vedenläpäisevyys on heikko tai hyvin heikko. Heikosti vettä läpäisevässä maassa voidaan tosin tehdä massanvaihto, jolloin kasvukerroksen alle rakennetaan esimerkiksi kiviaineksesta pidätys-imeytyskerros. Joka tapauksessa maaperästä riippumatta painannetta rakennettaessa täytyy muotoilla maaston pinta ja istuttaa sopiva kasvillisuus. (Hyöty 2007, s. 17.)

Esimerkiksi Viikin ekologisella koerakentamisalueella Helsingissä maaston tasaisuus ja paksu, tiivis savikerros estävät imeyttämisen suuressa mittakaavassa. Vaihtamalla pintakerros onnistuttiin kuitenkin järjestämään pienempi muotoinen hulevesien imeyttäminen. Imeyttämistä edesauttoivat myös pihojen ja yleisten alueiden nurmi- ja istutusalueet, pintavesipainanteiden pienet pituuskaltevuudet ja reittivallinnat imeytysalueiden alapuolella, tulvapainanteet sekä karkearakenteiset salaojakaivannot ja imeytyskaivot. Imeytysaltaat ja -kaivot ovat tasoittaneet sateiden jälkeisiä valumia ja kaivojen vesiä on voitu hyödyntää kasvimaiden ja istutusten kasteluun. (Perttula 2004, s. 26.)

Massanvaihto voi tulla myös kysymykseen, jos käsitellään likaisia hulevesiä (Ahponen 2005, s. 72 taulukko 3). Kunnossapitotoimenpiteet ovat tärkeä osa myös imeytyspainanteiden toimintaa varmistettaessa. Viherpainanteen pohjalle kerääntyvä liete ja roskat on puhdistettava säännöllisesti, erityisesti keväällä sulamiskauden jälkeen. (Ahponen 2005, s. 71 taulukko 2.)

Imeytyspainanne voidaan rakentaa myös kallioalueelle, mutta tämä vaatii kasvukerroksen alapuolisen kallion irtilouhintaa vedenjohtavuuden parantamiseksi (Hyöty 2007, s. 17). Kallion louhinta on kuitenkin kallista, minkä vuoksi kallioalueille voidaan suositella imeytyksen asemesta hulevesien johtamista alueille, joissa niiden imeytyminen maaperään on luonnollista.

Muihin imeytysmenetelmiin verrattuna imeytyspainanteen etuna on sen maanpäällinen lammikoitumistila, jossa hulevesiä voidaan viivyttää (Hyöty 2007, s. 17).

Nämä lammikot tasaavat paitsi virtaamia myös parantavat hulevesien laatua. Viivytystilavuuden tulisi tyhjentyä noin 2–3 vuorokauden kuluttua täyttymisestä (Hyöty 2007, s. 17).

Imeytyspainanteiden pinta-alaksi suositellaan 10 % valuma-alueen läpäisemättömien alueiden pinta-alasta, jolloin painanteen viivytystilavuuden pitäisi riittää kerran viidessä vuodessa toistuvalla 10 minuutin rankkasateelle, kun keskimääräinen lammikon syvyys on 0,1 metriä (Hyöty 2007, s. 18). Imeytykseen käytettävien ruohokenttien pinta-alaksi puolestaan suositellaan karkeasti kaksi kertaa niin suurta alaa, kuin on alueeseen liittyvien kattojen pinta-ala (Stahre 2006, s. 26).

Erityisesti taajamissa imeytyspainanteiden käyttöä rajoittavat tilaongelmat. Painanteita on kuitenkin mahdollista upottaa kaupunkirakenteeseen (kuva 6.4.). Jos maan päällistä tilaa ei ole, voidaan alueelle suositella erilaisia maanalaisia ratkaisuja.



**Kuva 6.4.** Kaupunkirakenteeseen upotettu viherpainanne. (Metodekatalog 2010, Regnbede, s. 7)

Hulevesien imeyttämisestä on Suomessa kokemuksia jo 1980-luvulta kevennetyn kunnallistekniikan koerakennushankkeista (Inha 2010). Muun muassa Vaasan Gerbyssä tutkittiin hulevesien maahan imeyttämistä rei'itetyistä salaojaputkista onnistunein tuloksin, sillä rakenteet toimivat vieläkin halutussa tarkoituksessa (Jormola, s. 60). Myös Espoon Pihlajarinteessä, joka oli kevennetyn kunnallistekniikan projektien ensimmäisiä laajamittaisia kohteita, tutkittiin imeyttämistä. Katualueille rakennettujen maanalaisten imeytysrakenteiden tarkoituksena oli turvata alueen pohjavesipinnan säilyminen. Rakenteiden todettiin toimivan hyvin ja katualueen viemärikaivannoissa pohjavedenpinnan havaittiin säilyneen. Imeytysrakenteiden ansiosta alueella voitiin pienentää putkikokoja, jolloin järjestelmä tuotti säästöä kokonaiskustannuksissa. (Leminen & Helander 1985, Jormola, s. 60 mukaan.)

Luonnollisen pohjavesitasapainon säilyttämistä tavoiteltiin myös Paimion Oinilassa, jossa hulevesiviemärit pyrittiin jättämään kokonaan pois tai korvaamaan salaojilla. Alueelle suunniteltiin sepelistä tehtyjä tasaus- ja imeytysaltaita (Kevennetty kunnallistekniikka Paimion Oinilan pientaloalueella 1984, s. 16), jotka sijoitettiin johtokaivantojen yhteyteen (Kevennetty kunnallistekniikka Paimion Oinilan pientaloalueella 1984, s. 24). Imeytysjärjestelmien lisäksi rakennettiin sepelistä ylivuotoaltaita, jotka toimivat vieläkin hyvin. Paimion kaupungin rakennuttajainsinööri Kylén (2009) kertoi kuitenkin, ettei imeytystekniikkaa ei ole käytetty myöhemmin uudestaan lähinnä taloudellisista syistä.

Hämeenlinnassa hulevesien imeyttämistä testattiin kaupunkikeskustan eteläpuolella sijaitsevalla Hattelmanharjulla, joka on pohjavesialuetta. Vaikka ratkaisu oli toimiva, eikä mitään ole vielä sattunut, vahingon vaara on silti liian suuri. (Kettunen 2009.) Lisäksi harju kuuluu nykyään Natura 2000 -hankkeeseen (Wikipedia, Hattelmanharju), eikä imeyttäminen alueella ole enää sallittua.

Hulevesikasetit ovat melko uusi ratkaisu hulevesien maanalaiseen hallintaan. Niitä voidaan käyttää niin imeytys- kuin tasausjärjestelminä sekä piha- että katualueilla. (Wavin Labko, Hulevesikasetit.)

Tekniikka & Talous-lehden artikkelissa (Huhtiniemi 2010) esitellään Kouvolan keskustaan valittua maanalaista hulevesien kasettiviivytysrakennetta (kuva 6.5.). Hulevesikasettien toivotaan ratkaisevan alueen tulvaongelmat. Keskustan kadut viettävät niin, että jo lyhytkestoisetkin kaatosateet ovat aiheuttaneet tulvimista. Pahimmillaan vettä on virrannut kiinteistöihin useita kertoja kesässä, kertoo artikkelissa Kouvolan Veden projekti-insinööri Jarno Hujanen. (Huhtiniemi 2010.)



**Kuva 6.5.** Hulevesikasetteja hankkeen rakennusvaiheessa Kouvolan keskustassa. (Wavin Labko 2010)



Kouvolassa kasettirakenne on 30 metriä pitkä, 19 metriä leveä ja pari metriä korkea. Vettä viivytyksrakenteeseen mahtuu toista tuhatta kuutiota vettä. Menetelmä valittiin, koska perinteiset putkitusratkaisut olisivat tulleet kalliiksi. Allas koostuu kolmesta hulevesikasettikerroksesta, joiden päällä on hiekkaa. Vedet johdetaan altaaseen kahdesta eri verkon osasta ja puolet rakenteen vedestä tyhjenee takaisin runkoputkiverkkoon vapaasti virtaamalla. Toinen puoli vedestä jää verkoston alapuolelle ja vaatii siksi pumppausta. Hankkeen kokonaiskustannuksiksi on arvioitu 400 000 €, josta puolet rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto. (Huhtiniemi 2010.)

Hulevesikasetit voidaan huoltaa tarkastuskaivojen kautta huuhtelemalla. Huollon yhteydessä voidaan tarkastuskaivojen avulla myös tarkistaa rakenteen kunto ja hulevesivarastot videokameralla. Huollon mahdollisuus pidentää kasettien käyttöikää. (Wavin Labko, Wavin Q-Bic -sadevesikasetit.)

### 6.2.2. Imeytysoja

Imeytysojia voidaan käyttää esimerkiksi viherpainanteiden pohjalla, jolloin saadaan lisätyksi painanteisiin kapasiteettia (Stahre 2006, s. 50). Toteutuksen onnistuminen riippuu pitkälti hulevesien laadusta, koska ojien imeytysrakenteet tukkiutuvat helposti. Rakenteiden tukkeutumisen estämiseksi suositellaankin kiintoaineksen poistavaa esikäsitelyä (Hyöty 2007, s. 18).

Jotta ympäröivät maalajit eivät sekoitu imeytysojan täytemateriaaliin ja tuki sitä, on kaivannot eristettävä ympäröivästä maasta esimerkiksi suodatinkankaalla. Avoimissa ojissa on tärkeää erottaa myös pintakerros alemmista kerroksista suodatinkankaalla, jolloin imeytysojaan tuleva hienoinen pidättyy pintakerrokseen eikä tuki alempia kerroksia. (Hyöty 2007, s. 13). Suodatinkankaiden ongelma on kuitenkin niiden tukkeutuminen, minkä vuoksi niiden käyttöä on tarkoin harkittava. Suositeltu valuma-alueen pinta ala imeytysojille on enintään 2 hehtaari (Hyöty 2007, s. 18).

Maanalaisissa imeytysojissa voidaan seurata veden pinnan tasoa tarkastusputkilla. Ojaan voidaan rakentaa myös salaojitus ylimääräisen veden poistamiseksi, jos ympäröivän maaperän vedenläpäisykyky ei ole riittävä. Avoimiin imeytysojiin suositellaan maanpäällistä ylivuotoreittiä. (Hyöty 2007, s. 13–14.)

Avoimet imeytysojat soveltuvat kohteisiin, joissa hulevedet johdetaan laajahkolta valuma-alueelta. Kiintoaineksen kulkeutumisen imeytysrakenteisiin voidaan estää rakentamalla ojalle esikäsitelyksi esimerkiksi tasausallas tai puskurivyöhyke. Kun hulevedet ovat pääosin kattovesiä tai muita vähän epäpuhtauksia sisältäviä vesiä, voidaan niiden käsittelyyn käyttää maanalaisia imeytysojia. (Hyöty 2007, s. 14–15.)

Toimiakseen imeytysojat vaativat painanteiden lailla säännöllistä huoltoa. Jos huoltotoimenpiteet laiminlyödään eikä imeytysojaan tulevia hulevesiä esikäsitellä, voi painanteen elinikä jäädä alle 5 vuoteen. Säännöllisestä huollosta huolimatta imeytysojien täyttömateriaali saatetaan joutua vaihtamaan. Materiaali suositellaan vaihdettavaksi keskimäärin 10 vuoden välein. (Schueler m fl. 1992, Larmin 1994, s. 87 mukaan.)

Maanalaisissa imeytysojissa voidaan käyttää myös imeytykseen suunniteltuja hulevesitunneleita, joita tunneleita suositellaan erityisesti pieniin kohteisiin sekä imeytys- että varastointiratkaisuiksi. Tunneli muodostetaan erillisistä moduuleista, joiden kunkin tilavuus on 300 litraa. Esitteen mukaan hulevesitunneleissa on 3 kertaa enemmän varastotilaa ja 2/3 vähemmän maankaivutöitä kuin perinteisessä sepeli-imeytyksessä. Toisin kuin hulevesikasetteja, tunneleita ei voida asentaa kuin yhteen kerrokseen, joskin peräkkäin ja useampaan riviin asentaminen on mahdollista. Ei kasetteja eikä tunneleita suositella asennettavaksi puiden tai kasvillisuuden läheisyyteen (Uponor-hulevesikasetit ja -tunnelit 2009), koska puiden juuret saattavat rikkoa rakenteet. Hulevesitunneleiden käytöstä ei kuitenkaan ole vielä saatavilla kokemuksia.

### *6.2.3. Talviolosuhteiden vaikutus imeytysrakenteisiin*

Talvella maanpäällisten imeytysrakenteiden mikrobiologinen puhdistustoiminta ja kiintoaineen pidäytyminen sekä imeytyminen maaperään vähenevät (Ahponen 2005, s. 71 taulukko 2). Maanalaisissa rakenteissa ei sen sijaan ole havaittu merkittäviä käyttöongelmia, joskin putkien liittymäkohdissa on jäätymisen riski (Larm 1994, s. 106.)

Nykyisin Kouvolaan kuuluvan Elimäen Napan alueella rakennettiin 1980-luvulla imeytyskenttiä sorasta katujen kulmauksiin ja puistoalueille. Kouvolan teknisen ja ympäristötoimialan kehittämisjohtaja Antti Laherto (2010) kertoi puhelinkeskustelussa imeytyskenttien toimivan edelleen hyvin. Myöskään talviaikoina ei ole ilmennyt ongelmia. Erityisesti imeytyskentät, joiden päältä lunta ei aurata pois, ovat toimineet hyvin eivätkä ne ole kärsineet roudasta.

### *6.2.4. Viherkatot*

Viherkatot sopivat idealtaan hyvin tiheästi rakennetuille alueille, joilla ei ole tilaa maahan sijoitettaville käsittelymenetelmille (Ahponen 2005, s. 67). Esimerkkikuva 6.6. on Tukholmasta Flemingatanilla, jossa rakennuksen katolla on käytetty maksaruohoa.



**Kuva 6.6.** Viherkatto Tukholmassa Flemingatanilla. (Veg Tech)

Ongelmia aiheuttavat kuitenkin erilaiset ilmastot. Koska esimerkiksi Suomessa pieniä sateita saadaan melko usein, kattojen rajallinen varastointikyky on otettava huomioon (Ahponen 2005, s. 67). Lisäksi talvella, kun katon kasvualusta on jäässä, ei imeytymistä tapahdu lainkaan. Haastavimmat ajat ovat keväisin, kun lumet alkavat sulaa ja kattokasvillisuus on vielä jäässä. Sama tilanne tulee syksyllä, ennen kuin sateet tulevat lumena.

Ruotsista useiden vuosien ajalta saatujen kokemusten perusteella on havaittu, että viherkatot suojaavat kattopintoja (engl. roof lining) auringon UV-säteilyltä ja pidentävät näin kattojen käyttöikä. Viherkattojen aiheuttamista kattojen kosteusvaurioista ei ole saatu todisteita. Pitkäaikaiset tutkimukset osoittavat myös, että pienet sateet imeytyvät lähes kokonaan viherkattoihin. Pitkäaikaiset sateet kuitenkin kyllästyttävät katon imeytymiskyvyn, minkä vuoksi pidätyskyky heikkenee merkittävästi. Vuosittain laaja-alaisen viherkattojen käytön on tutkimuksissa todettu vähentävän kattovesiä noin 50 %. Viime vuosina viherkattojen käyttö Ruotsissa onkin lisääntynyt huomattavasti. Viherkatot paitsi pidättävät sadevesiä, myös parantavat talojen lämmöneristystä. Lisäksi niillä on myönteinen vaikutus kaupunkien paikalliseen ilmastoon (engl. microclimate) esimerkiksi ilmanlaadun parantumisen muodossa. (Stahre 2006, s. 24.)

Viherkattoja suunniteltaessa on niiden toimivuuden kannalta tärkeää luoda kasveille oikeat kosteusolosuhteet, varmistaa kattorakenteiden kestävyys ja vedeneristyksen toimivuus (Kattoliitty ry). Sanomalehti Keskisuomalaisen Internet-artikkelissa 29.6.2009 "Viherkatto suojaa kuumuudelta ja pienhiukkasilta" Garden Workshopin viheralueiden suunnittelua tekevä Juha Kivimäki toteaa vesieristuksen aiheuttavan viherkattojen osalta suurimpia ongelmia. Suuria kasveja ja siten myös paksumpia maakerroksia käytettäessä on tärkeää suojata vedeneristyskerros. Jollei suojauksesta huolehdi, kasvien juuret voivat tukkia katon salaojituksen. Paksumpi katto painaa

myös enemmän, mikä on huomioitava kattorakenteiden kantavuudessa. (Viherkatto suojaa kuumuudelta ja pienhiukkasilta 2009.)

Viherkatot toimivat, kun salaojituskerros on mitoitettu oikein ja vedenpoisto järjestetty asianmukaisella tavalla. Räystääsalueiden eroosiosuojana voidaan käyttää kiveystä samoin kuin palosuojauksena viherkaton liittyessä seinärakenteisiin. (Kattoliitto ry.)

Kotipuutarha-lehdessä Mikko ja Arja Nenonen Hartolasta kertovat kesällä 2008 autotallin katolle asennetun kattovarvikon toimineen hyvin. Salaojakerroksen ansiosta ylimääräinen vesi valuu räystäskourujen kautta keräystynnyriin, eikä multa ole jäänyt läpimäräksi saati liettynyt kovankaan sateen jälkeen. Toisaalta viikonkaan poutajakso ei ole kuivattanut multaa kokonaan. (Nenonen et al.)

Salaojituskerros muodostui vedenpitävän huopakatteen päälle asennetun patolevyn nystyjen väliin, kun levyn päälle asennettiin tukeva, vettä läpäisemätön suodatinkangas. Mullan pitämiseksi katolla käytettiin ristikkomaista Taboss-kennostoa, joka maksoi 7,30 €/m<sup>2</sup>. Kennosto asennettiin itse. Multaa katolle laitettiin noin 14 kuutiota. Jos katto olisi ollut kuumalla ja tuulisella paikalla, lape etelään, olisi kennoston päälle, mullan sisään kannattanut sijoittaa rei'itetty kasteluletku. (Nenonen et al.)

Varvikko asennettiin katolle levyinä. Varvikko maksoi asennus mukaan luettuna 18 €/m<sup>2</sup>. Varvikon ja kennoston lisäksi kustannuksia aiheuttivat myös patolevy, suodatinkangas ja multa. Nenosen kertovat, että varvikko on selviytynyt hyvin talvesta: keväällä se alkoi vihertää samassa tahdissa ympäröivän luonnon kanssa. (Nenonen et al.)

Tanskalaisessa hulevesioppaassa (Metodekatalog 2010, Grønne tage s. 20) on arvioitu, että toimistorakennukselle, jonka kattopinta-ala on noin 5700 m<sup>2</sup>, viherkaton perustamiskustannukset olisivat yhteensä 2 508 000 DK, joka on noin 350 000 € (Forex). Ensimmäisen vuoden käyttökustannuksiksi on arvioitu 68 400 DKK (noin 10 000 €) ja seuraaville vuosille 25 650 DKK (noin 4000 €). Jos käyttöikäksi oletetaan 25 vuotta, tulee koko hankkeen vuosittaisille kustannuksille keskiarvoksi 132 800 DKK (noin 20 000 €). 50 vuoden käyttöiällä vuosittaiset kustannukset tippuvat 79 200 DKK (noin 10 000 €). Esimerkin kattomateriaali on sammal ja kasvualustan paksuus 20–40 mm. (Metodekatalog 2010, Grønne tage s. 20; Forex.)

### *6.2.5. Läpäisevät päällysteet*

Parhaiten läpäisevät päällysmateriaalit sopivat esimerkiksi pysäköintialueille ja hidasliikenteisille kaduille, joissa liikenteen aiheuttama kuorma ei ole suuri (Schueler 1995, Ahposen 2005, s. 69 mukaan). Vaasan Palosaassa läpäisevää päällystettä käytettiin katualueen sivuilla pysäköintialueilla (kuva 6.7.). Päällysteitä ei suositella alueille, joissa hulevedet sisältävät huomattavia määriä epäpuhtauksia tai alueille, joissa on olemassa kemikaalipäästöjen riski. Pohjavesialueilla läpäisevien päällysteiden käyttöä suositellaan vain asuinkortteleihin ja kevyenliikenteen väyliin. (Hyöty 2007, s. 5.)



**Kuva 6.7.** Lämpäisevät päällystemateriaalit sopivat pysäköintialueille. Kuva Tiilitehtaankadulta Vaasan Palosaaresta. (Google StreetView 2010b)

Lämpäisevien päällysteiden toimivuuteen vaikuttaa erityisesti päällysteen aluskerroksessa käytetyn maa-aineksen vedenjohtavuuskyky. Avoimen asfaltin toimivuudesta ja vedenläpäisevyyden säilymisestä ei ole tutkimustuloksia pidemmältä ajanjaksolta, mutta esimerkiksi Lemminkäisen asfalttituotteiden esittelysivulla (Lemminkäinen Infra Oy) huomautetaan, että vedenläpäisevyydestä huolimatta avointa asfalttia käytettäessä kohteeseen on suunniteltava kaadot, jotta myös valuntaa tapahtuu.

Vaasassa Gerbyn alueella kevennetyn kunnallistekniikkahankkeiden yhteydessä testattiin myös murskesoran käyttöä katujen pintarakenteena. Kokeilu ei ollut kuitenkaan toimiva, koska hienojakoinen murskesora tukki kadun yläpinnan ja esti näin muun muassa suodatinkerroksen toiminnan. Vaasassa on käytetty myös avointa asfalttia, mutta siitä ei ole saatu vielä testituloksia. (Reinikainen 2009.)

Lämpäisevien päällysteiden toimivuuden kannalta niiden huolto on olennaista. Pinta on säännöllisesti puhdistettava hiekasta ja roskista, jotta huokosten ja kolojen tukkeutuminen vältetään (Ahponen 2005, s. 72 taulukko 3; Caroco & Claytor 1997, s. 69). Lisäksi lähiympäristön istutusten kunnossapitoon on kiinnitettävä huomiota roskaantumisen ja kiintoaineksen kulkeutumisen estämiseksi (Hyöty 2007, s. 8).

Käytännössä esimerkiksi avoimen asfaltin huokoisen pinnan puhdistus on melko vaativaa. Vaikka päällimmäiset huokokset saataisiinkin puhdistettua, voivat syvemmällä olevat huokokset olla silti tukossa, mikä heikentää, ellei jopa kokonaan estä imeytymistä. Huonontunutta imeytymiskapasiteettia on mahdollista parantaa erityisellä imuroidintimenetelmällä (engl. vacuum sweeping). (Stahre 2006, s. 40.)

Lämpäisevät päällysteet eivät edellytä erityisiä muutoksia kadun tai pysäköintialueen rakennekerroksiin, joten lämpäisevien ja lämpäisemättömien päällysteiden kustannuserot muodostuvat ainoastaan päällystemateriaalista ja kunnossapitokustannuksista, jotka ovat

suuremmat läpäisevillä päällysteillä. (Hyöty 2007, s. 8). Läpäisevien päällysteiden elinkaari on kuitenkin rajallinen. Kokemusten perusteella on todettu, että läpäisevä päällyste toimii lähes ongelmattomasti 15–20 vuoteen kaduilla, joilla liikennekuorma on kevyt. Raskaammin liikennöidyillä teillä päällysteen huokokset tukkeutuvat jo 5–6 vuodessa. (Stahre 2006, s. 40.)

### ***6.2.6. Talviolosuhteiden vaikutus läpäiseviin päällysteisiin***

Talvella läpäisevien päällysteiden pintakerrosten ollessa jäässä ja lumen peitossa imeytyminen estyy (Hyöty 2007, s. 8). Imeytymistä vähentää vielä routa, jonka vuoksi maaperä voi vettyä, kun luonnolliset imeytymisominaisuuden muuttuvat (Ahponen 2005, s. 72 taulukko 3). Läpäisevien päällysteiden rakenteisiin jäänyt vesi johdetaan pois salaojituksella, mikäli se ei imeydy maaperään (Hyöty 2007, s. 8).

Talvella myös liukkauden torjunta aiheuttaa ongelmia: hiekoitushiekka tukkii päällysteen, ja suolalla on omat ympäristövaikutuksensa muun muassa pohjaveteen. Lisäksi lumen auraus saattaa aiheuttaa päällysrakenteen rikkoutumista. (Ahponen, s. 72 taulukko 3; Caroco & Claytor 1997, s. 69.)

## ***6.3. Hulevesien viivyttäminen***

Paitsi tulvariskin ja eroosion pienentämistä, viivytyksen menetelmillä voidaan parantaa myös hulevesien laatua, kun kiintoaines ja siihen sitoutuneet epäpuhtaudet ehtivät laskeutumaan (Hyöty 2007, s. 31), mikäli veden viipymä altaassa on yhtä pitkä kuin kiintoaineksen laskeutumisaika (Ferguson 1998, Ahponen, 2005, s. 70 mukaan). Niin kosteikkokäsittelyyn kuin viivyttämiseenkin soveltuvat parhaiten valuma-alueen alaosat, joissa maaperä on huonosti vettä läpäisevää (Ahponen 2005, s. 77).

### ***6.3.1. Viivytyksaltaat, -painanteet ja -kaivannot***

Veden laadun kannalta viivytyksallas, jossa on pysyvä vesivarasto, on tehokkaampi kuin esimerkiksi kuvan 6.8. allas Englannista, joka on ajoittain kuiva. Pysyvän vesivaraston altaassa uuden sateen tulovirtaama ei huuhto pohjalta sedimenttejä kuten kuivassa altaassa ja lisäksi viipymä on pidempi, koska altaassa on aina vettä. Näin partikkelien laskeutuminen jatkuu vielä sateen loputtuakin ja mahdollinen mikrobiologinen toiminta ehtii käynnistyä tehostaen laadun paranemista. (Ferguson 1998, Ahponen 2005, s. 70 mukaan.) Pysyvän vesivaraston allas on sijoitettava alueelle, jossa luonnostaankin tapahtuu lammikoitumista. Muutoin veden korkeuden ylläpitäminen on hyvin hankalaa.

Viivytyksallas on varustettava sekä ylivuotoreitillä että tyhjennysputkella, jotta allas voidaan tyhjentää huoltotoimenpiteiden ajaksi (Hyöty 2007, s. 35). Rakennetut altaat edellyttävät enemmän puhtaanapitoa kuin muut menetelmät. Kunnossapidon helpottamiseksi voidaan rakentaa esimerkiksi tasausaltaita tai -kaivoja, jotka vähentävät kiintoaineksen kulkeutumista. (Hyöty 2007, s. 36.)





**Kuva 6.8.** Ajoittain kuiva viivytyssallas Englannista. (SUDSnet b)

Viivytyspainanteisiin suositellaan virtaamaa sääteleviä rakenteita, jotka tyhjentävät tilan enintään muutaman vuorokauden kuluttua täyttymisestä. Tyhjentyminen voi tapahtua esimerkiksi hulevesiviemäriin tai karkeasta maa-aineksesta kuten louheesta tehdyn padon läpi suotautumalla. (Hyöty 2007, s. 34.)

Huleveden viipymistä ja samalla myös imeytymistä voidaan parantaa suuremmissa painanteissa padoilla, jotka voivat muodostaa pieniä lampia. Lammilla on kaupunkirakenteessa myös maisemallista arvoa. Patorakenteisiin on kuitenkin suunniteltava purkuaukko tai pato, joiden on oltava materiaaliltaan sellaista, että vesi pääsee suotumaan sen läpi, mikäli padotettu vesitilavuus ei poistu maaperään imeytymällä tietyssä ajassa. (Hyöty 2007, s. 28.)

Viivytykskaivannot sopivat kohteisiin, joissa ei ole tilaa maanpäällisille ratkaisuille. Kaivannot ovatkin usein osa hulevesiviemäriverkostoa. Koska niissä ei pyritä imeyttämään hulevesiä, ne on varustettava salaojituksella ja purkuputkella. Yhtenä viivytykskaivantojen tyyppinä voidaan pitää maanalaisia viivytyssäiliöitä, jotka tasaavat hulevesiviemäriin johdettavia virtaamia. (Hyöty 2007, s. 35–36) Esimerkiksi Vaasassa Gerbyn alueella rakennettiin kevennetyn kunnallistekniikan koerakentamishankkeiden aikana vuonna 1981 katualueelle maanalainen säiliö. Vaasan Veden toimitusjohtajan Pertti Reinikaisen (2009) mukaan allas on toiminut hyvin ja se on yhä käytössä.

Erityisesti rakennetun alueen sisälle sijoittuvissa maanpäällisissä viivytysrakenteissa on kiinnitettävä huomiota esteettisyyteen ja yhteensopivuuteen muun ympäristön kanssa (Hyöty 2007, s. 36). Esteettisyyttä voidaan saavuttaa esimerkiksi istuttamalla kasvillisuutta.

Kasvillisuudella on esteettisyyden lisäksi myös muita myönteisiä vaikutuksia. Esimerkiksi sisäänvirtausuoman suulle ja varrelle istutetut kaislat toimivat biologisena suodattimena ja niillä voidaan estää muun muassa leväkasvustojen syntyä. Levän muodostumista voidaan estää istuttamalla kosteikkojen ja lampien rannoille puita ja pensaita, jotka varjostavat vettä ja heikentävät näin fotosynteesiä. Erityisesti pienissä viivytyksrakenteissa veden happipitoisuutta voidaan lisätä asentamalla suihkulähde, joka kierrättää vettä. (Falk 2007, s. 34.)

Poikkeuksellisia rankkasateita varten voidaan kaupunkialueille rakentaa tiloja, jotka tulvatilanteessa voivat toimia tulva-altaina. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi skeittipuistot ja erilaisen porrasmaiset painanteet (kuva 6.9.).



**Kuva 6.9.** Kaupunkialueilla huleveden viivytyksrakenteissa on kiinnitettävä huomiota niiden yhteensopivuuteen ympäristön kanssa. (Metodekatalog 2010, Opstuvning på terræn s. 5)

Rakennetut altaat, viivytykspainanteet ja -kaivannot on tarkoitettu lähinnä sijoitettavaksi rakennettujen alueiden sisälle, eikä niitä turvallisuussyistä pitäisi mitoittaa poikkeuksellisen suurille vesimäärille (Hyöty 2007, s. 36). Pohjasedimentit ja roskat on poistettava tasaisin väliajoin ja rakennusvaiheessa pohjalle kertynyt sedimentti ennen käyttöönottoa (Ahponen 2005, s. 73 taulukko 4).

Huoltokustannukset ovat merkittävä osa viivytyksrakenteiden kokonaiskustannuksissa. Kustannuksia ja viivytyksrakenteiden toimivuutta on tutkittu esimerkiksi Ruotsissa, missä viivytyksrakenteiden, erityisesti altaiden määrä on viimeisen 10 vuoden aikana kymmenkertaistunut. Tutkimusten mukaan viivytyksaltaiden ja perinteisen verkoston perustamiskustannukset ovat samaa suuruusluokkaa, kun taas kunnossapitokustannukset ovat altaiden osalta korkeammat. Viivytyksaltaat vastaavat kuitenkin perinteisiä menetelmiä paremmin kasvaviin sademääriin. Lisäksi



viivytyrakenteilla voidaan parantaa veden laatua. Rakenteilla, joilla on pysyvä vesivarasto, on myös esteettistä arvoa. Kaiken kaikkiaan Ruotsista saadut kokemukset ovat viivytyrakenteiden osalta myönteisiä. (Falk 2007, s. 34.)

### *6.3.2. Talviolosuhteiden vaikutus viivytyrakenteisiin*

Yleisesti viivytyksen menetelmät toimivat talvella, vaikka lumi ja jää pienentävätkin käsittelytilavuutta. Rakennetun alueen sisälle sijoitettujen sekä viivytyspainanteiden että -altaiden käyttöä lumenlajityspaikkoina tulisi välttää, jotta rakenteet pystyvät käsittelemään talviaikaisia hulevesiä ja lumen sulamisvesiä. (Hyöty 2007, s. 36.)

Talviolosuhteet huomioitaessa viivytyksaltaiden tulo- ja menovirtaamaputket suositellaan asennettaviksi routarajan alapuolelle (Ahponen 2005, s. 73 taulukko 4). Routaraja on kuitenkin lähes poikkeuksetta syvemmillä kuin esimerkiksi ojat, joihin hulevedet on tarkoitus johtaa. Hulevesien johtaminen syvemmältä maaperästä ylempänä sijaiseviin ojiin vaatisi vesien pumppausta, mikä ei ole järkevää. Käytännössä virtaamaputkien asentaminen routarajan alapuolelle ei siis useinkaan tule kysymykseen.

### *6.3.3. Kosteikkokäsittely ja lammikot*

Kosteikkojen toimivuuden kannalta on oleellista, että vesi pääsee jakaantumaan tasaisesti koko kosteikkorakenteen alueelle eikä oikovirtauksia synny. Toiminnallista pituutta on mahdollista lisätä rakentamalla uoma mutkittelevaksi ja ohjaamalla virtaamaa penkereillä. Kosteikot olisi paras sijoittaa olemassa olevien pintavalunnan purkureittien yhteyteen tai maastopainanteisiin, joihin hulevedet voidaan helposti johtaa. Kun kosteikot sijoitetaan jo valmiisiin painanteisiin, säästetään rakennustöiden kustannuksissa. (Hyöty 2007, s. 31.)

Kosteikkojen toimivuudesta on erinomainen esimerkki Uudenmaan toiseksi suurimman järven ja Helsingin veden varavedenottamon, Hiidenveden pienvaluma-alueelle rakennettu Hovin kosteikko (Koskiahho 2009, s. 5). Kosteikko on 6000 m<sup>2</sup> ja sen valuma-alue on 12 hehtaaria. Hovin kosteikko rakennettiin tutkimuskäyttöön vuonna 1998 ja siitä on kerätty mittaustuloksia 10 vuoden ajan. Kokemukset kosteikosta ovat myönteisiä: viivytysteho ei ole laskenut ja ravinteiden, erityisesti typen ja fosforin pidättyminen on parantunut ajan myötä merkittävästi. (Koskiahho 2009.)

Kokonaisuudessaan Hiidenveden valuma-alue on reilu 900 km<sup>2</sup>. Sinne on tehty vuosina 2005–2007 yhteensä 16 pienimuotoista allasta ja kosteikkoa valumavesien viivyttämiseksi ja siten myös laadun parantamiseksi. Koska altaita ja kosteikkoja rakennettiin yksityisille maille, piti kohteille löytää mielekäs käyttötarkoitus, kuten kasteluvesiallas, riista-allas tai maiseman parannus. Hoitosuunnitelman lisäksi tehtiin vastuiden ja kustannusten jakamisesta kirjallinen selvitys. (Hyttiäinen 2008, s. 9.)

Tärkeimpänä tekijänä kosteikon toiminnan kannalta tutkijat pitävät sen koon suhdetta valuma-alueen kokoon (Koskiahho 2009). Viivytyksaltaan tai kosteikon kooksi on usein esitetty noin 2 % valuma-alueen pinta-alasta. Luku perustuu maatilojen

läheisyyteen perustetuista kosteikoista saatuihin tietoihin. Hovin tapauksessa kosteikon pinta-ala vastaa kuitenkin 5 % valuma-alueen alasta.

Lammikoiden vesisyvyyden vuoksi niiden rakentaminen edellyttää aina kaivu- ja pengertöitä, mikä osaltaan lisää kustannuksia. Lammikoiden viivytystilan ja purkautuvan vesimäärän säätelyyn on rakennettava pato ja juoksutusrakenne. (Hyöty 2007, s 33.) Purkuputki tai ylivuotoreuna on suunniteltava niin, että viivytystilavuus tyhjenee pitkähkön ajan, kuten 0,5–2 vuorokauden kuluessa. Jos purkureittinä käytetään avointa uomaa tai kourua (kuva 6.10.), on sen säännöllisestä puhdistamisesta huolehdittava.



**6.10.** Kuvassa taustalla näkyvän lammikon purkukouru. (Metodekatalog2010, Våde bassiner og damme s. 5)

Lammikon huollon kannalta padon juureen olisi hyvä rakentaa tyhjennysputki, jotta myös pysyvän veden alue saadaan tarpeen mukaan tyhjennettyä. Padon harjan rakentamisessa on otettava huomioon vesimäärän turvallinen purkautuminen harjan yli, jos mitoitustilavuus ylittyy. Vaihtoehtoisesti voidaan rakentaa ylivuotoreitti padon ohi. Ylivuotojen suunnittelu on lammikoiden ja kosteikkojen kyseessä ollessa erityisen tärkeitä, koska vesimäärät kyseisissä rakenteissa ovat suuria. (Hyöty 2007, s. 36).

Lammikon alkupäähän suositellaan rakennettavaksi tasausallas veden laadun parantamiseksi (Hyöty 2007, s. 33). Suurilla virtaamilla vesi kuitenkin huuhtoo tasausaltaan pohjalle kertyneet laskeumat lammikkoon. Tulvatilanteissa tasausaltaasta ei siis ole hyötyä veden laadun parantumisen kannalta. Varsinainen veden puhdistuminen ja virtaamien tasaus tapahtuu kuitenkin lammikossa.

Vaasan Veden toimitusjohtaja Reinikaisen (2009) mukaan Gerbyyn 80-luvulla suunniteltu luonnonmukainen hulevesiverkosto ja kokoojalammit toimivat vieläkin hyvin. Verrattuna esimerkiksi viereiseen asuinalueeseen, jossa kuivatustekniikka on toteutettu perinteisesti, Gerbyn alueelta valumavesiä syntyy viisi kertaa vähemmän. Merenlahteen järjestetyn suuren kuivatuksen onnistumisesta kertoo se, että kuivatusjärjestelyjen jälkeenkin kala nousee sinne kutemaan. Kuivatusvesien laatua tutkitaan yhä edelleen jatkuvasti.

Laadullisesti paras tulos lammikoista saadaan kun ne ruopataan säännöllisin väliajoin. Gerbyn lammikoille ei ole kuitenkaan tehty mitään sitten niiden valmistumisen. Vaikka ylisyöksypadon kohdalla on mitattu korkeita fosfori- ja typpituloksia, ovat näytteet yleisesti silti parempilaatuisia kuin perinteisen putkitekniikan alueelta. (Mäkinen 2008, s. 57)

Hulevesikosteikot ja lammikot edellyttävät vähintään 4 hehtaarin valuma-aluetta. Valuma-alue on oltava riittävän suuri, jotta hulevesikosteikkojen ja -lammikoiden pysyvä vesipinta ja kasvillisuus voidaan säilyttää. Kosteikot ja lammikot ovatkin erinomaisia suurten valuma-alueiden ja poikkeuksellisten rankkasateiden hulevesien hallintaan. Pysyvän vesipinnan vuoksi ne tulisi sijoittaa alueille, joissa maaperän vedenläpäisevyys on luonnostaan heikko. (Hyöty 2007, s. 36.)

Kasvillisuus on olennainen osa kosteikkojen ja lammikoiden toimivuutta ja ne vähentävät esimerkiksi eroosiota. Lammikoita ja kosteikkoalueita rakennettaessa onkin tarvittaessa istutettava kasvillisuutta ja peitettävä pohjamaa kasvialustalla. (Hyöty 2007, s. 36.)

Kasvillisuus vaatii myös huoltoa ja liiallinen, tukkeuttava kasvillisuus ja pohjasedimentti on poistettava säännöllisin väliajoin. (Ahponen 2005, s. 74 taulukko 5). Huollon helpottamiseksi alueelle suositellaan rakennettavaksi huoltotie (Hyöty 2007, s. 36).

#### *6.3.4. Talviolosuhteiden vaikutus kosteikkoihin ja lammikkoihin*

Huleveden laadun kannalta talvella vähenevä mikrobitoiminta heikentää puhdistustulosta. Veden kylmetessä myös partikkelien laskeutumisnopeus pienenee. (Ahponen 2005, s. 74 taulukko 5.) Usein kuitenkin kosteikot ja lammikot toimivat viivytysmenetelminä myös talviaikaan, joskin pienemmällä kapasiteetilla (Hyöty 2007, s. 37).

Talviajan toimivuuteen vaikuttaa erityisesti syksyllä tehty purkurakenteiden puhdistus. Jos rakenteet ovat tukossa ja pääsevät jäätymään, virtaavat hulevedet rakenteen ohi. (Hyöty 2007, s. 37.) Talviaikaa voidaan hyödyntää altain ja

kosteikkojen rakennuksessa ja kunnossapidossa, kun maa on jäässä ja alueelle pääsee helpommin.

Vaikka kosteikot ja lammikot ovat erinomaisia huleveden käsittelymenetelmiä, talviolosuhteet aiheuttavat ongelmia juuri jäätymisen takia. Jääkerros pienentää lammikon varastotilavuutta, ja sen alle sulamisvaiheessa virtaava vesi voi aiheuttaa suuria virtausnopeuksia. Kasvaneet virtausnopeudet saattavat irrottaa aikaisemmin pohjalle laskeutunutta kiintoainesta. Pohjoisen ongelmiin on lammikoiden osalta esitetty lammikon ja imeytyspainanteen yhdistelmää, joka kuivatetaan talveksi salaojan avulla. Tällöin ensihuuhtouma imeytyy lammikon pohjaan, kunhan se on tehty huokoisesta materiaalista. Suurempia virtaamia varten voidaan rakentaa pato- ja poistoputkijärjestelmä. (Oberts 2003, Jormolan, s. 70–71 mukaan.)

Toinen mahdollisuus lammikon talvikäyttöön on vedenpoistojärjestely, jolla vedenkorkeus pidetään talvella alemmalla tasolla kuin kesällä. Jotta sulamisvesi voi keväällä nousta ylemmälle tasolle, on poistoputken alempi aukko suljettava ennen sulamiskautta. Tämä järjestely mahdollistaa kiintoaineksen laskeutumisen. Putkien jäätymisen välttämiseksi ne suositellaan mitoittamaan suuriksi ja sijoittamaan routa- ja jäätymisrajan alapuolelle. (Oberts 2003, Jormolan, s. 71 mukaan.)

Kosteikkoihin voidaan soveltaa samanlaisia kuivatusmenetelmiä kuin lammikoihinkin. Toinen mahdollisuus on rakentaa imeytyspainanne, joka toimii imeytyskenttänä. Kosteikossa voidaan lammikkoa paremmin ohjata veden virtausta matalien pohjakynnysten avulla ja saada säännöstelytilavuutta. (Oberts 2003, Jormolan, s.71 mukaan.)

Vaikka vedenjohto- ja patojärjestelyillä varustettuja hulevesilampia ja -kosteikoita ei Suomessa ole juurikaan toteutettu, säädeltäviä altaita ja patojärjestelyjä on kuitenkin toteutettu muissa yhteyksissä, minkä vuoksi niiden käyttöä voisi selvittää myös hulevesien yhteydessä. (Oberts 2003, Jormolan, s. 71 mukaan.)

## **6.4. Hulevesien muiden hallintamenetelmien toiminta käytännössä**

Huleveden muut hallintamenetelmät eivät niinkään vaikuta huleveden määrään tai virtaamiin, mutta niillä on vaikutusta esimerkiksi huleveden laatuun. Nämä muut hallintamenetelmät huomioon ottamalla voidaan parantaa varsinaisten hulevesirakenteiden toimintaa ja elinikää.

### **6.4.1. Öljynerotin**

Öljynerottimet on toisinaan puhdistettava veden mukana tulleesta kiintoaineksesta. Talvella öljynerottimet toimivat normaalisti, kunhan ne on asennettu tarpeeksi korkealle pohjavedenpinnan yläpuolelle. Huoltotoissa on varottava venttiilien jäätymistä. Kaiken kaikkiaan öljynerottimet vaativat paljon huoltotoimenpiteitä, eivätkä ne pysty käsittelemään suuria hulevesimääriä. (Larm et al. 1999, Ahponen 2005, s. 75.)

### 6.4.2. Suodatinkaivot

Viikin ekorakentamisalueella Helsingissä pienet vesimäärät imeytettiin tontti- ja katualueilla muun muassa pohjattomien kaivojen avulla (Jormola, s. 60). Alueen hulevesien seurantatutkimuksen (Perttula 2004) mukaan kaivoista on vaihtelevia kokemuksia, mikä johtuu pitkälti siitä, ettei maaperän savisuus mahdollista tehokasta huleveden imeytymistä. Yleisesti seurantatutkimuksessa peräänkuulutettiin kaivojen parempaa kunnossapitoa, minkä uskottiin vaikuttavan niiden toimintakykyyn.

Tanskalaisen hulevesioppaan (Metodekatalog 2010, Nedsivningsbrønde s. 2) suodatinkaivot vähentävät hulevedenmäärää myös rankkasateiden aikana huomattavasti. Muun muassa kiintoainekseen pidäytyneiden aineiden ja raskasmetallien poistamiseen suodatinkaivojen arvioidaan toimivan keskiverroksi.

### 6.4.3. Kaivosuodatin

Kaivosuodattimia suositellaan pienille, alle 0,5 hehtaarin valuma-alueille (Stormwater Inlet Protection Demonstration). Suodattimet pystyvät käsittelemään noin 30–60 l/min suuruisen virtaaman ja niillä voidaan poistaa hulevedestä öljyä, kiintoainesta ja kiintoaineeseen kiinnittyneitä epäpuhtauksia. Ruotsin tielaitoksen kokemusten (Norman 1999 ref. Larm ym. 1999, Ahposen 2003, s. 76 mukaan) mukaan suodattimet voivat poistaa 50–80 % hulevedessä olevista raskasmetalleista. (Ahponen 2003, s.76.)

Kaivosuodatinten toiminnan kannalta niiden huolto on erittäin tärkeää. Suodatin on vaihdettava 2–4 kertaa vuodessa suodatinvalmistajan ohjeiden mukaisesti. (Larm et al. 1999, Ahposen 2005, s. 76 mukaan.)

Kaivosuodattimet on helppo lisätä jo olemassa oleviin rakenteisiin ja ne ovat melko edullisia. Ilman säännöllistä huolto ne tukkiutuvat kuitenkin helposti. Lisäksi niiden kyky puhdistaa liuenneita epäpuhtauksia, hienoaainesta ja öljyn jäämiä vedestä on havaittu heikoksi. Kaivosuodattimia voidaan käyttää täydentämään muita hulevesien puhdistusmenetelmiä, mutta yksinään ne eivät ole tarpeeksi tehokkaita. (Wolfe 2004.)

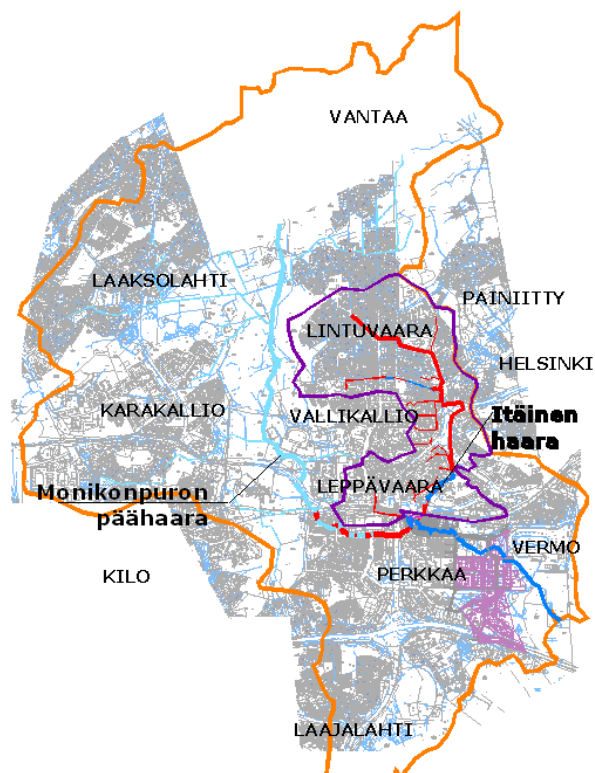
## **7. CASE-tapaus: Espoon Monikonpuron itäisen haaran hulevesiselvitys**

Tutkimuksessa arvioitiin Monikonpuron itäisen haaran radan pohjoispuolisen alueen hulevesien virtaamat, joita voidaan hyödyntää paitsi eri virtaama- ja pinnankorkeuslaskelmissa myös maankäytön suunnittelussa. Käytettävissä olevien pohja- ja johtokarttojen, ajantasakaavojen sekä maankäyttösuunnitelmien pohjalta laadittiin karkea malli valuma-alueesta ja tutkittiin virtaamatilanteita kriittisiksi arvioituissa kohteissa eri sademäärillä. Lisäksi selvitettiin, tuleeko Turunväylän ja Turku–Helsinki- radan alittavien rumpujen kapasiteettia lisätä ja onko mahdollista muodostaa tasausaltaita Turunväylän pohjoispuolelle. Suunnittelussa huomioitiin RATU-hankkeen (Aaltonen et al. 2008) johtopäätökset ja suositukset. (Hell 2009.)

### **7.1. Alkutilanne**

Espoossa sijaitseva Monikonpuro on yksi Vantaanjoki-suiston jokihaaroista (Espoon kaupunki). Myös Kilonojana tunnettu Monikonpuro on nykyisin noin 6,5 kilometriä pitkä ja luonnontilaisena uomana 1–2 metriä leveä (Lupapäätös nro 12/2007/3).

Kuvassa 7.1. on esitetty Monikonpuron valuma-alue, jonka alkuosa käsittää Hämevaaran, Laaksolahden lounaisosan, Karakallion ja Lintuvaaran länsiosan, josta se virtaa pohjois-eteläsuunnassa Leppävaaran keskustaan. Keskustasta puro jatkaa itään ja laskee Vermon kohdalla Iso Huopalahteen. Monikonpuro alittaa useita liikenneväyliä, kuten Turuntien, Kehä I:n ja Helsinki–Turku-rautatien. (Lupapäätös nro 12/2007/3.)



**Kuva 7.1.** Monikonpuron valuma-alue. Vesistöalueen raja on merkitty karttaan oranssilla ja puron itäisen haaran valuma-alue violetilla. Puron putkitetut osuuden on merkitty punaisella ja avouomaosuudet sinisellä värillä.

Pääuomaa vähemmän tutkitun Monikonpuron itäisen haaran valuma-alue on noin 280 ha ja se käsittää Lintuvaaran eteläosan, Vallikallion ja Mäkkylän länsiosan. Lintuvaaran alueella puro johdetaan avo-ojista putkeen, joka johtaa vedet etelään. Kehä I:n muutostöiden vuoksi ennen vielä avoimena alueella kulkenut puro on putkitettu nykyisin Mäkkylään asti, josta se jatkuu noin 400 metriä avouomassa, kunnes se yhtyy Helsinki–Turku-radan eteläpuolella puron pääuomaan.

Puro on alueella arvokas luontoelementti, jolla on virkistysarvoa. Esimerkiksi Leppäviidan ekokorttelin alueelle on rakennettu erilaisia vesiaihteita, joista mainittakoon pieni lampi. Puroon istutetuille taimenille ja luontaisesti siellä viihtyvillä eliö-, eläin- ja kalalajeille on pyritty luomaan hyvät elinmahdollisuudet. (Leppäviidan ekokortteli ja Monikonpuro esittäytyvät ensi viikoin puistoina, Espoon tänään.)

Nykyisin sekä putkitettuna että avouomassa kulkevaa Monikonpuroa on vuosien mittaan siirretty useasti (Leppäviidan ekokortteli ja Monikonpuro esittäytyvät ensi viikoin puistoina, Espoon tänään), viimeksi 2001 Leppäviidan ekokorttelin ja Leppävaaran liikekeskuksen asemakaavojen mukaisen rakentamisen takia (Lupapäätös nro 12/2007/3).

Vuonna 2007 Länsi-Suomen ympäristölupavirasto myönsi luvan (Lupapäätös nro 12/2007/3) Monikonpuron osittaiselle siirtämiselle Leppävaaran kaupunginosassa Perkkään alueella, Helsinki–Turku-radan eteläpuolelle rakennettavan vapaa-ajanviettokorttelin kohdalta. Siirto suoristaisi entisestään Monikonpuroa ja vaikuttaisi

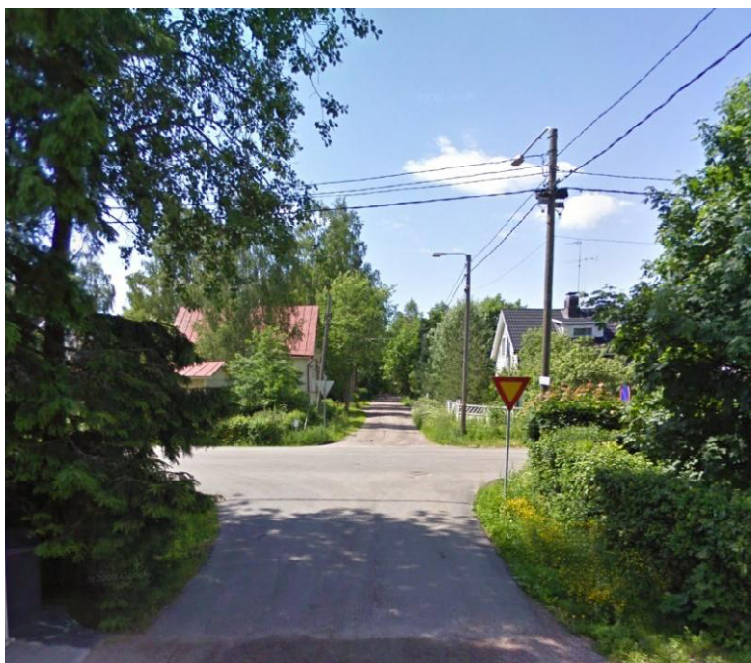


myös sen virtaukseen. Lisäksi radan pohjoispuolella Vallikallion ja Mäkkylän alueilla tehtävät Kehä I:n muutostyöt vaikuttavat Monikonpuron itäisen haaran virtaamiin.

Monikonpuron virtaamaselvittelyissä ei ole ollut käytettävissä selvitystä yläpuolisen alueen hulevesivirtaamista. Alueella suoritettavien merkittävien rakennusprojektien vuoksi Espoon kaupunki oli huolestunut mahdollisista tulvatilanteista ja tärkeiden liikenneväylien alittavien rumpujen koon riittävydestä. Erityisesti Turuntien ja Helsinki–Turku-radan alittavien rumpujen kapasiteettien riittävydestä oltiin huolissaan.

## 7.2. Maankäyttö suunnittelualueella

Maankäyttö itäisen haaran valuma-alueen pohjoisosassa, Lintuvaarassa, on pääosin pientalovaltaista ja alueen hulevedet johdetaan avo-ojissa. Kuvasta 7.2. voidaan myös nähdä, ettei kaikkia katuja alueella ole päällystetty.



**Kuva 7.2.** Valuma-alueen pohjoisosassa, Lintuvaarassa hulevedet johdetaan avo-ojissa eikä kaikkia katuja ole päällystetty. Kuva on otettu Hernekertuntieltä, Pohjoisen Lintuvaarantien risteyksestä. (Google StreetView 2010c)

Itäisen haaran pohjoisosan valuma-alueetta rajaavat länsipuolelta suurehko puistoalueet. Itäpuolelle, nykyisille viheralueille, on lähiaikoina rakentumassa Painiityn laajat asuinalueet, jotka sijoittuvat kuitenkin pääosin viereiselle, Helsingin Mätäojan valuma-alueelle.

Valuma-alueen eteläosassa on lähinnä julkisia rakennuksia, kerrostaloja ja liikerakennuksia. Tulevaisuudessa valuma-alueen maankäyttö säilyy pääosin samanlaisena, mutta kunnallistekniikan parantamishankkeen vaikutuksesta hulevesien johtaminen tehostuu valuma-alueen pohjoisosassa, kun sivuoajat korvataan



hulevesiviemärillä ja kadut päällystetään. Eteläosan valumiin vaikuttavat Kehä I:n tunnelointi ja sen päälle rakennettavat rakennukset.

### 7.3. Virtaamalaskelmat

Virtaamalaskelmia varten suunnittelualue jaettiin pienvaluma-alueisiin, jotka numeroitiin 1:stä 6:een. Pienvaluma-alueet rajattiin vesien virtaussuuntien mukaisesti niin, että alueelta tulevat vedet voitiin johtaa yhteen purkupisteeseen. Maankäytön perusteella määritettiin korttelikohtaiset valumakertoimet.

Virtaamien laskentaan esitetään Vesihuolto I:ssä (2004) kaava:

$$Q = q * \varphi * A * \psi, \text{ jossa}$$

$$Q = \text{virtaama [m}^3\text{/s] tai [l/s]}$$

$$q = \text{mitoitussateen rankkuus [l/s/ha]}$$

$$\varphi = \text{valumiskerroin (taulukosta tai nomogrammist)}\alpha$$

$$A = \text{valuma-alueen pinta-ala [ha]}$$

$$\psi = \text{hidastumiskerroin}$$

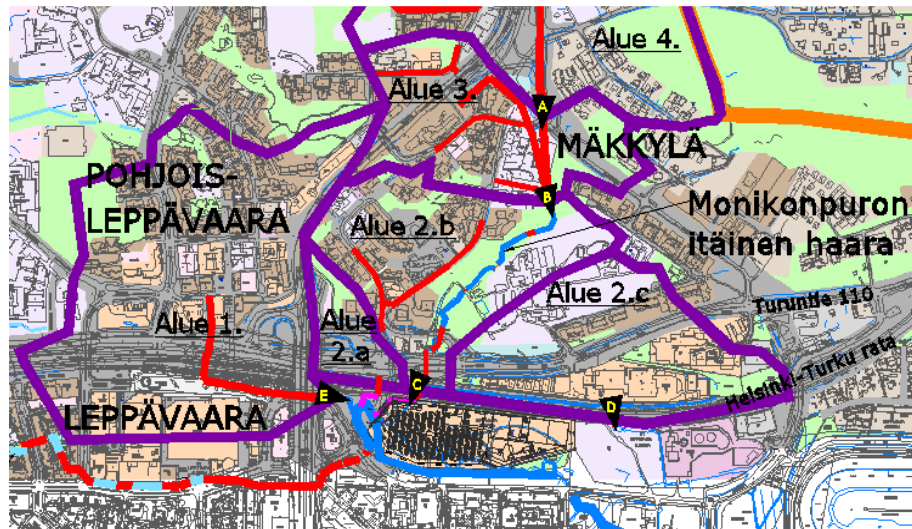
(Vesihuolto I 2004, s. 461 – 463; Sovellettu hydrologia 1986, s. 214.)

Kyseisen suunnittelualueen virtaamien laskennassa kaavaa sovellettiin niin, ettei hidastumiskerrointa eli viipymää alueella huomioitu, jolloin kaava lyheni muotoon:

$$Q = q * \varphi * A$$

Virtaamien laskennassa ei huomioitu viipymiä. Suuren valuma-alueen (280 ha) viipymien arviointiin olisi tarvittu suuri työmäärä. Lisäksi laskennassa olisi jouduttu olettamaan paljon asioita, minkä vuoksi tulokset olisivat olleet hyvin epävarmoja. Viipymäarvioista saatava hyöty olisi siis ollut pieni suhteessa tehtyyn työmäärään. Jos suunnittelualue olisi ollut pienempi, esimerkiksi alle 50 hehtaaria, olisi viipymät olleet helpompi ottaa huomioon.

Suunnittelualueen mitoitussateeksi valittiin 20 minuutin mitoitussade, koska se vastaa putkessa noin 1200 metrin matkaa virtausnopeudella 1 m/s ja koska itäisen haaran eteläpuolen kaikkien pienvaluma-alueiden reitit ovat noin 1 kilometrin pituisia. Lisäksi kyseinen mitoitussade on myös Espoon Veden käyttämä putkimitoitussade. Laskelmissa oletettiin, että Lintuvaaran pohjoisosasta tuleva linja (purkupiste A kuvassa 7.3.) toimii täydellä kapasiteetilla.



**Kuva 7.3.** Itäisen haaran valuma-alueen eteläosa. Pienvaluma-alueiden purkupisteet on merkitty A–E. Punaiset merkinnät viittaavat puron putkitettuihin osuuksiin ja siniset avouomaosuuksiin. Vedenjakajat on merkitty violetilla viivalla.

Sateen rankkuudet määritettiin RATU:n perusteella mitoitussateen pituuden mukaan, ja sen mukaan kuinka usein kyseinen sade toistuu. Toistuvuuksiksi valittiin kerran 2 vuodessa (1/2), kerran 3 vuodessa (1/3), kerran 10 vuodessa (1/10), kerran 20 vuodessa (1/20), kerran 50 vuodessa (1/50) ja kerran 100 vuodessa (1/100) tapahtuvat sateet. Näin saatiin laaja otos sekä useammin että harvemmin tapahtuvista sateista.

### 7.3.1. Nykyisyys

Kun jokaisen korttelin virtaamat oli määritetty, voitiin laskea virtaamat kultakin pienvaluma-alueelta. Muodostuvien vesimäärien laskennassa käytetyt sateet, niiden rankkuudet sekä virtaamat (Q) purkupisteissä A–E on esitetty taulukossa 7.1. Purkupisteiden sijainti kartalla on esitetty kuvassa 7.3.

**Taulukko 7.1.** Monikonpuron itäisen haaran vesimäärien laskennassa käytetyt sateet, niiden rankkuus ja virtaamat purkupisteissä A–E. Laskennassa ei ole huomioitu viipymiä.

Mitoitussade 20 min, kerran/x vuodessa	Rankkuus [l/s/ha]	Q [m <sup>3</sup> /s] A***	Q [m <sup>3</sup> /s] B	Q [m <sup>3</sup> /s] C	Q [m <sup>3</sup> /s] D	Q [m <sup>3</sup> /s] E
½	70 *	3,5	4,1	4,7	0,8	1,6
1/3	90	3,5	4,2	5,0	1	2,1
1/10	117	3,5	4,4	5,5	1,3	2,7
1/20	140	3,5	4,6	5,9	1,5	3,3
1/50	168	3,5	4,8	6,3	1,8	3,9
1/100	192	3,5	5,0	6,8	2,1	4,5
Mitoitussade 30 min, kerran/x vuodessa						
1/200	167 **	3,5	4,8	6,3	1,8	3,9

\* Espoon Veden putkimitoituksissa käyttämä mitoitussade

\*\* FCG:n tulvaselvityksessä käytetty mitoitussade.

\*\*\* Oletettu, että putki toimii täydellä kapasiteetilla.

Valuma-alueen nykyinen maankäyttö on esitelty luvussa 7.2. "Maankäyttö suunnittelualueella".

### 7.3.2. Tulevaisuus

RATU-hankkeen loppuraportissa on arvioitu tulevaisuuden sademäärien kasvavan jopa 30 %. RATU-hankkeen mukainen ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamiin (Q) purkupisteissä A–E on esitetty taulukossa 7.2. Purkupisteiden paikka kartalla on esitetty kuvassa 7.3.

**Taulukko 7.2.** RATU-hankkeen mukaisen ilmastonmuutoksen vaikutus laskennassa käytettyihin sateisiin, niiden rankkuuteen ja virtaamiin purkupisteissä A–E. Laskennassa ei ole huomioitu viipymiä.

Mitoitussade 20 min, kerran/x vuodessa	Rankkuus + 30 % [l/s/ha]	Q [m <sup>3</sup> /s] A	Q [m <sup>3</sup> /s] B	Q [m <sup>3</sup> /s] C	Q [m <sup>3</sup> /s] D	Q [m <sup>3</sup> /s] E
1/2	91	3,5	4,2	5,0	1,0	2,1
1/3	117	3,5	4,4	5,5	1,3	2,7
1/10	152	3,5	4,7	6,1	1,7	3,5
1/20	182	3,5	4,9	6,6	2,0	4,2
1/50	219	3,5	5,2	7,2	2,4	5,1
1/100	249	3,5	5,5	7,7	2,8	5,8
Mitoitussade 30 min, kerran/x vuodessa						
1/200	217	3,5	5,2	7,2	2,4	5,1

Monikonpuron itäisen haaran valuma-alueen pohjoisosassa tulevaisuudessa toteutettaneen kunnallistekniikan parantamishankkeita. Käytännössä hankkeet tarkoittavat nykyisten katujen reunaojien putkittamista ja hiekkateiden päällystämistä, mikä lyhentää hulevesien viipymää alueella. Kehä I:lle parhaillaan rakennettava tunneli ja sen päälliset talot eivät vaikuta merkittävästi valuntaan, ainoastaan virtausnopeuksiin. Tunnelin kuivatus järjestetään pumppaamalla, mikä osaltaan äärevöittää virtaamia.

#### **7.4. Riskikohteet ja ongelmat**

Ongelmia syntyy erityisesti Turuntien ja Helsinki–Turku-radan pohjoispuolella, koska rumpujen kapasiteetit eivät laskelmien perusteella riitä välittämään edes nykyisiä virtaamia. Radan alittavan rummun C riittämätön kapasiteetti saattaa aiheuttaa jo nykyisellään veden padottumista radan pohjoispuolen sivuojaan ja johtumista pohjoisessa sivuojaassa idän suuntaan rumpuun D (kuva 7.3.).

Vedenpinnan nousu radan pohjoisessa sivuojaassa voi ääritilanteissa vahingoittaa radan pohja- ja kerrosrakenteita sekä aiheuttaa tulvimista radan ja Turuntien välisille alaville pihuille ja toimistorakennuksiin. Veden padottumista saattaa tapahtua jo Turuntien pohjoispuolella olevalla osuudella. Sekä Turuntien pohjoispuolella että radan eteläpuolisessa uomassa on maastossa nähtävillä eroosion aiheuttamaa maaperän kulumista ja veden samentumista (kuva 7.4.).



**Kuva 7.4.** Helsinki–Turku-radan alittavan rummun C eteläpuolista, eroosion syömää uomaa. (Inha 2009)

Ongelmia aiheuttaa myös alueen tiivis rakentaminen ja laajat päällystetyt pinnat. Toteutuessaan valuma-alueen pohjoisosan kunnallistekniikan parantamishanke kasvattaa osaltaan myös hulevesien hallintaan liittyviä ongelmia, kun hulevesien imeytyminen ja viipymä pienentyvät. Vapaa-ajanviettokortteli Superlife Labin

rakentuminen Helsinki–Turku-radan eteläpuolelle suoristaa entisestään Monikonpuron uomaa ja vaikuttaa siten myös puron virtaamiin.

### **7.5. Ehdotetut toimenpiteet**

Radan ympäristön tulvariskin pienentämiseksi radan läpi on saatava lisää kapasiteettia. Nykyinen kapasiteetti on noin  $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ja lisäkapasiteetin tarve on luokkaa  $2\text{--}4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Laskennallinen tulovirtaama nykytilanteessa on  $5,5\text{--}8,9 \text{ m}^3/\text{s}$  toistuvuuksilla  $1/2\text{--}1/100$  vuotta Lintuvaaran putken ollessa täynnä. Tulevaisuudessa virtaamat kasvavat laskennallisesti tasolle  $6,0\text{--}10,5 \text{ m}^3/\text{s}$  toistuvuuksilla  $1/2\text{--}1/100$  vuotta.

Edellä mainituissa laskelmissa on siis oletettu, että esitetyt mitoitussateet ( $1/2\text{--}1/100$  vuotta) tapahtuvat, kun Lintuvaarasta tuleva Ø 1400 mm muoviputki on jo täynnä. Kun mitoitussateena käytetään tunnin mittaista sadetta, jonka rankkuus on  $45 \text{ l/s/ha}$ , on Lintuvaaran putken täyttymisen todennäköisyys kerran 3 vuodessa.

Lisäkapasiteetin tarve riippuu siitä, miten paljon ja usein radan sivuojaan sallitaan vettä patoutuvan. Toisaalta kapasiteetin lisääminen kasvattaa virtaamia alajuoksulla, kun nyt radan sivuojassa padotuksen vuoksi viivästyvä vesimäärä pääsee nopeammin Monikonpuron pääuomaan.

Toimenpiteissä ei ehdotettu Monikonpuron avouomaosuuden muokkaamista viivytys- ja imeytyskäyttöön, koska sen vaikutukset eivät olisi olleet riittävät tuleville vesimäärille. Myöskään suunnittelun alkuvaiheen kokouksissa mainittuja kiinteistökohtaisia hulevesien pidätysvelvollisuuksia ei toteutettu muun muassa lainsäädännöllisistä syistä. Kiinteistökohtaisten pidätysvelvollisuuksien hyötyvaikutuksia myös epäiltiin.

### **7.6. Toimenpiteiden vaikutukset ja kustannukset**

Lisärumpu radan itäiseen alitukseen nykyisen rummun D (kuva 7.3.) läheisyydessä vähentää kuormitusta radan pohjoispuolella ja riittää tavanomaisten huippuvirtaamien johtamiseen suhteellisen vähäisellä padotuksella. Lisärumpu Turuntien alitukseen vähentää kuormitusta Turuntien pohjoispuolella, mutta se ei yksinään poista alueen ongelmia.

Lisärumpu Hatsinan alikulun länsipuolelle vähentää niin ikään kuormitusta radan pohjoispuolella, mutta koska virtaama purkautuu Monikonpuron pääuomaan ennen Superlife Labin viihdekeskusta, se kuormittaa puron jo ennestään äärirajoilla olevaa kapasiteettia. Nykyisin Hatsinan alikulun eteläpuolella sijaitsee hulevesipumppaamo, mutta sillä ei ole merkitystä tulvareittien kannalta. Toimenpiteiden tärkeysjärjestykseksi ehdotettiin seuraavaa:

1. Helsinki–Turku-radan alitus idässä ja radan pohjoispuolen perkaus. Toistaiseksi vedet voidaan johtaa radan eteläpuolella nykyistä reittiä pitkin puron pääuomaan.
2. Hulevesien johtaminen nykyisestä Helsinki–Turku-radan itäisestä alituksesta uuteen uomaan Superlife Labin tontin rajalle uuden maankäytön tieltä. Välittömästi eteläpuolella oleva Perkkaantien alitus toteutetaan sillalla.
3. Rakennetaan lisärummut Turuntien alitukseen.
4. Radan alitus Hatsinan alikulun länsipuolella voidaan toteuttaa niin haluttaessa.

Toteutettavan vaihtoehdon mukaisesti kustannukset ovat karkeasti arvioituna 1,0–1,6 M€.

Selvityksen aikana esille nousseet vaihtoehtoiset menetelmät, viivyttäminen ja pidättäminen avouomaosuudella sekä kiinteistökohtaiset pidätysvelvoitteet, eivät olisi riittäneet vähentämään rankkasateiden aiheuttamien hulevesihuippuja valuma-alueella. Niiden käyttöä voitaneen harkita myöhemmin maisemallisista syistä sekä täydentämään tulvareittejä.

### ***7.7. Valuma-alueen tulevaisuuden suunnittelusta***

Suunnittelualueella Helsinki–Turku-radan ja Turuntien ympäristö on erittäin riskialtis alue. Käytännössä alueella tehdyssä hulevesiselvityksessä ehdotetut toimenpiteet vain välittävät kasvavat vesimäärät Helsinki–Turku-radan eteläpuolelle. Radan eteläpuolelle voidaan suunnitella tulvareittejä ja toteuttaa tulvasuojelua, mutta hulevesien määrän vähentäminen imeyttämällä tai virtaamien merkittävä hidastamista ei ole mahdollista.

Koska Helsinki–Turku-radan ja Turuntien ympäristössä ei voida tehdä mitään hulevesien viivyttämiseksi tai imeyttämiseksi ilman merkittäviä maankäytön muutoksia alueella, on hulevesiä vähennettävä jo valuma-alueen pohjoisosassa. Jatkossa valuma-alueen maankäytön suunnittelussa onkin kiinnitettävä huomiota siihen, ettei alueen pohjoisosasta johdeta ainakaan nykyistä enempää hulevesiä eteläisille riskialueille. Käytännössä tämä tarkoittaa tehokkaampaa hulevesien hallintaa valuma-alueen pohjoisosassa Lintuvaarassa. Hulevesien hallintaa voidaan tehostaa esimerkiksi kiinteistökohtaisilla hulevesien pidätysvelvoitteilla ja rakentamalla puisto- tai muille yleisille alueille viivytyrakenteita.

## 8. Tulosten arviointi

Poikkeuksellisten rankkasateiden aiheuttamien hulevesihuippujen hallintaan tehokkaimpia menetelmiä ovat kosteikot ja lammikot. Kosteikot ja lammikot vaativat kuitenkin tilaa, mikä hankaloittaa rakenteiden käyttöä kaupunkimaisessa ympäristössä. Jollei alueella ole luontaista kosteikkoa tai lammikkoa, voi niiden rakentamiskustannukset olla korkeat. Kosteikot ja lammikot sopeutuvat kuitenkin hyvin kasvaviin sademääriin ja niillä on myös esteettistä arvoa. Maisemointiin on erityisesti kiinnitettävä huomiota kaupunkialueille rakennettavissa hulevesien hallintaratkaisuisissa. Myös turvallisuus on otettava huomioon.

Kosteikkojen, lammikoiden ja muiden viivytyrakenteiden lisäksi myös erilaiset imeytysrakenteet tasaavat hyvin virtaamia ja siten ehkäisevät eroosiota. Maaperä ja sen vesiolosuhteet vaikuttavat oleellisesti imeytysrakenteiden toimivuuteen. Imeyttämisellä voidaan vaikuttaa maaperän pohjavesitasapainoon, mutta pohjavesialueella imeytettäessä on kiinnitettävä huomiota huleveden laatuun. Likaisia hulevesiä ei voida imeyttää pohjavesialueilla ilman esikäsittelyä.

Rakennetuilla alueilla päällystettyjen pintojen osuus on suuri, minkä vuoksi imeytymistä tapahtuu vain hyvin rajoitetusti. Pintaimetyksen vaihtoehtona ovat erilaiset maanalaiset rakenteet kuten muoviset hulevesikasetit, joiden vedenpidätyskyky on suurempi kuin perinteisten sepelistä tehtyjen imeytysaltaiden. Maanalaiset rakenteet toimivat maanpäällisiä rakenteita paremmin talvella. Imeytyrakenteiden kuten myös läpäisevien päällysteiden suurin ongelma on imeytyspintojen tukkeutuminen.

Viherkatot vaikuttavat olevan nouseva trendi ja niiden sanotaan imeyttävän jopa 50 % vuosittaisista kattovesistä. Käytännössä katot ovat kuitenkin erittäin herkkiä sään muutoksille. Jos sateet ovat pitkäkestoisia, kyllästyy katon kasvillisuuskerros vedellä, eikä uusia vesiä enää imeydy. Säästä riippuvaisen imeytyskyvyn vuoksi viherkattoja ei voida ottaa huomioon laskettaessa esimerkiksi kiinteistökohtaisia hulevesien viivytyks- ja pidätysvelvoitteita. Viherkattoja voidaan kuitenkin suositella käytettäväksi muiden menetelmien rinnalla. Paljon käytettyinä viherkatoilla on merkitystä kaupunkialueen ilmanlaatuun, akustiikkaan ja ulkonäköön. Yksittäisen rakennuksen kannalta ne eristävät lämpöä ja suojaavat kattorakenteita esimerkiksi UV-säteilyltä. Viherkattojen suunnittelussa on tärkeää varmistaa kattorakenteiden kestävyys ja vedeneristysten toimivuus.

Vaikka hulevedet ideaalitapauksessa käsitelläänkin syntypaikoillaan, on niitä käytännössä myös johdettava toisaalle. Perinteisen hulevesiviemäriverkoston asemesta tai sen rinnalla voidaan käyttää luonnonmukaisia johtamismenetelmiä. Maanpäälliset ojat ja viherpainanteet voivat johtamisen lisäksi myös viivyttää ja imeyttää hulevesiä.

Ne vaativat kuitenkin väljää kaavoitusta kohdealueella. Johtamismenetelmät ovat yksikertaisimmillaan edullisia toteuttaa.

Hulevesien hallinnan kustannukset riippuvat hyvin paljon kohteesta, käytetyistä menetelmistä ja niiden laajuudesta. Vaikka usein luonnonmukaisten hallintamenetelmien kustannusten esitetään olevan alhaisempia perinteisiin menetelmiin verrattuna, näin ei kuitenkaan aina ole. Välttämättömät hoitokustannukset ovat useissa menetelmissä merkittävän suuri osa kustannuksia ja saattavat näin nostaa kokonaiskustannukset perinteisiä menetelmiä kalliimmiksi. Huolellisella ja säännöllisellä hoidolla voidaan kuitenkin varmistaa hulevesirakenteiden toiminta ja pidentää niiden elinikää.



## 9. Päätelmät

Hulevesien hallinta on erittäin vaikeaa tiheään rakennetuilla alueilla ilman merkittävää taloudellista ja rakenteellista, harkittua sijoitusta. Fyysisesti jo tilanpuute on merkittävä tekijä, mutta varsinkin kiinteistökohtaisia hallintavelvollisuuksia määriteltäessä myös kustannus-, huolto- ja vastuukysymykset nousevat esille. Näihin kysymyksiin on haettu vastauksia vesihuoltolain tarkistamisryhmän valmistelemassa ehdotuksessa mahdollisiin vesihuoltolain säädösmuunnoksiin. Mikäli ehdotus hyväksytään, se helpottaa tulevaisuudessa myös hulevesien hallinnan suunnittelua, koska se antaa selvät säännöt muun muassa kiinteistökohtaisiin hulevesien käsittelykysymyksiin. Rakennetuilla alueilla kiinteistökohtainen, hajautettu pienkäsittely onkin lähes ainoita mahdollisuuksia luonnonmukaiseen hulevesien hallintaan.

Hulevesien hallinta onkin aloitettava kaavoituksesta. Veden luonnollinen kulku ja maaperäolosuhteet huomioon ottamalla voidaan jo kaavoituksessa varata hulevesien hallintaan riittävät tilat. Valitettavan usein nämä tilat ovat myös parhaita rakennus- ja liiketilapaikkoja, minkä vuoksi olisi tärkeää saada huleveden hallinnalle suurempi arvostus kaavoitusta suunniteltaessa. Kun veden luonnollisesta kulkureitistä poiketaan mahdollisimman vähän, myös tulvien aiheuttamat vahingot vähentyvät, kun vedellä on omat purkautumisreitinsä.

Hulevesien hallintaa kaavoitusvaiheessa helpottaa nykyään se, että yhä useammalla kunnalla ja kaupungilla on omat hulevesistrategiansa. On kuitenkin ristiriitaista, että kaupungeissa saatetaan hulevesistrategiasta huolimatta käynnistää hankkeita, joilla tavoitellaan urbaanimpaa lähiönäkymää päällystämällä hiekkateitä ja korvaamalla avo-oja ja painanteita hulevesiputkilla. Toisin sanoen, vaihtoehtoisten, luonnonmukaisempien menetelmien sijaan palataan perinteisiin hallintamenetelmiin.

Oli urbaanimpaa lähiönäkymää tavoittelevien hankkeiden takana sitten poliittiset tai taloudelliset perusteet, olisi saavutettua hyötysuhdetta syytä ajatella myös toisesta näkökulmasta. Eri menetelmiä vertailtaessa hyötysuhde käsitetään usein vain taloudellisena tarkasteluna. Hyödyn voi kuitenkin nähdä myös abstraktien arvojen kannalta. Vaikka luonnonmukaiset hulevesien hallintamenetelmät saattavat olla kalliimpia kuin perinteiset, niillä voidaan kuitenkin saavuttaa aineettomia arvoja. Veden laadun paranemista, pohjavesivarastojen säilymistä, maisemallisia arvoja sekä ihmisten hyvinvointia ja viihtyvyyttä voi tuskin mitata rahassa. Lisäksi huleveden luonnonmukaiset hallintamenetelmät edustavat pitkäkantoista ajattelumallia, koska menetelmiä voidaan perinteisiä menetelmiä paremmin mukauttaa esimerkiksi kasvaviin sademääriin.

Urbaanimpi lähiönäkymä hulevesien osalta on mahdollista saavuttaa myös muilla kuin perinteisillä hallintamenetelmillä. Kyse on vain huolellisesta suunnittelusta ja uskalluksesta. Kuten tässä työssä on useasti esitetty, voidaan eri hulevesien hallintarakenteita suunnitella ja sijoittaa ympäristöön mielenkiintoisella ja esteettisellä

tavalla. Toisinaan tuntuukin, ettei perinteisestä poikkeavia menetelmiä uskalleta käyttää, koska niistä ei ole riittävästi esimerkkejä ja kokemuksia. Lisäksi halutaan tietenkin varmistua, että valittu menetelmä toimii. Tulevaisuudessa tulisikin jatkaa ja lisätä erilaisia pilotti- ja tutkimushankkeita, jotta käyttökokemuksia saadaan lisää päätöksenteon pohjaksi. On myös tärkeää huolehtia seurannan ja tutkimusten tiedotuksesta, jotta arvokkaat käyttökokemukset eivät haudaudu arkistoihin. Kiinnostusta hulevesien eri hallintamenetelmiin näyttää kuitenkin olevan.

Hulevesien suunnittelussa keskitytään usein vain yksittäisten purojen tai asuinalueiden ongelmiin, vaikka kyse on paljon laajemmista asioista. Voidaan miettiä, kuinka suuri hyöty saavutetaan suuressa mittakaavassa sillä, että vedestä pidätetään esimerkiksi muutama kymmenen prosenttia tiettyjä ravinteita, kun hulevedet laskevat vesistöön, jonka tilavuus ja ravinnekuormitus ovat moninkertaisia tulevaan huleveden määrään verrattuna. Puhdistusvaikutus on tietenkin merkittävämpi, kun tarkastellaan tilannetta pidemmällä aikaperspektiivillä, mutta olisi silti hyvä muistaa ajatella toimien järkevyyttä ja hyödyllisyyttä myös laajemmasta näkökulmasta.

Hulevesien hallinnan suunnittelu on käytännössä maailman laajuisesti katsoen hyvin pienten kokonaisuuksien hallintaa. Sopiikin toivoa, että keskittymällä yksittäisiin puroihin ja asuinalueisiin, voidaan vähitellen levittää toimintatapoja ja ajattelumalleja ympäri maailmaa, jolloin hulevesien hallinnan merkitys saavutetaan myös laajemmassa näkökulmassa.

## LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H., Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU), Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat. Vammala. Suomen ympäristökeskus, 123 s.

Ahponen, H. 2005. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa. In: Vakkilainen, P., Kotola, J., Nurminen, J. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Suomen ympäristö 776, Ympäristönsuojelu. Espoo, Ympäristö ministeriö. s. 64 – 77. [Viitattu 31.12.2009]. Saatavilla: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=39235&lan=FI>

Ahponen, H. 2003. Kohti luonnonmukaisempaa taajamahydrologiaa. Diplomityö. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 98 s.

Caroco, D. & Claytor, R. 1997. Stormwater BMP Design Supplement for Cold Climates. US EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. 95 s. [Viitattu 26.2.2010]. Saatavissa: [http://www.cwp.org/Resource\\_Library/Center\\_Docs/special/ELC\\_coldclimates.pdf](http://www.cwp.org/Resource_Library/Center_Docs/special/ELC_coldclimates.pdf)

D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, määräykset ja ohjeet 2007. Helsinki 2007. Ympäristöministeriön asetus vesi- ja viemärilaitteistoista. [WWW]. [Viitattu 5.1.2010]. Saatavilla: [http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1\\_2007.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf)

Falk, J. 2007. Erfarenheter av kommunala Dagvattendammar. Stockholm, Svenskt Vatten AB. 68 s.

Forex. Valuuttalaskin, ostokurssi DKK 0,1295. [Viitattu 11.5.2010]. Saatavilla: <http://www.forex.fi/>

Google StreetView. 2010a. Tiilitehtaankadun viherpainanteita Vaasan Palosaarella. Kuva.

Google StreetView. 2010b. Läpäisevät päällystemateriaalit sopivat pysäköintialueille. Kuva Tiilitehtaankadulta Vaasan Palosaaresta. Kuva.

Google StreetView. 2010c. Valuma-alueen pohjoisosassa, Lintuvaarassa hulevedet johdetaan avo-ojissa eikä kaikkia katuja ole päällystetty. Kuva Hernekertuntieltä Pohjoisen Lintuvaarantien risteyksestä. Kuva.

Hattelmalanharju. Wikipedia. [Viitattu 7.5.2010]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Hattelmalanharju>

Hell, K. VS. Diplomityöstä – hulevedet. 9.11.2009. Sähköposti Hell, K. (Ramboll), Inha, L.; kopio Kaleva, H. (Ramboll).

Huhtiniemi, K. 2010. Tulvavedet valuvat Kouvolassa hyötykäyttöön. Tekniikka & Talous 9.4.2010, s.7.

Hulevesien hallinnan kehittäminen. Suomen ympäristökeskus. Linkki: Määritelmä. [Suomen ympäristökeskuksen kotisivut]. [Viitattu 30.12.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/hulevesi>

Huttunen, K. et al., 1985. Kevennetty kunnallistekniikka. Putkijohtojen routasuojaus ja lämmöneristäminen Elimäen Napan koerakennuskohteissa. VTT, Tiedotteita 519. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, geotekniikan laboratorio. 36 s. + liit. 3

Hyttiäinen, U-M. 2008. UUSra 12/2008 Hiidenveden hoito ja kunnostus 2005–2007 [WWW]. Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 12/2008, 27s. [Viitattu 24.5.2010]. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=91987&lan=fi>

Hyöty, P. 2007. Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät. Suunnitteluohje. Kuopion kaupunki. SKOY Suunnittelukeskus Oy, 2007. 43 s. [Viitattu 26.2.2010]. Saatavissa: [http://www.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/310807133659617/\\$File/suunnitteluohje.pdf?OpenElement](http://www.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/310807133659617/$File/suunnitteluohje.pdf?OpenElement)

Ilmastonmuutos. Suomen ympäristökeskus. [Suomen ympäristökeskuksen kotisivut]. 25.3.2010 [viitattu 18.5.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=355193&lan=FI>

Inha, L. 2009. Ramboll. Helsinki–Turku-radan alittavan rummun C (kuva 7.3.) etelänpuolista, eroosion syömää uomaa. Kuva.

Inha, L. Kokemuksia 1980-luvun kevennetyn kunnallistekniikan koerakentamishankkeista. 2010. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon tutkimus. 46 s.

Jormola, J. 2004. Hulevesien käsittelyperiaatteita ja -menetelmiä. In: Niemelä, J., Helle, I., Jormola, J. Purovesistöjen merkitys kaupunkiluonnon monimuotoisuudelle. Loppuraportti. Vantaa, Suomen ympäristö 724, Ympäristöministeriö, Alueidenkäytön osasto. s. 60 – 71. [Viitattu 8.3.2010]. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=28460&lan=fi>

Kaatra, K., Kemppainen, P., Hanski, P., Nuuja, K., Kaloinen, J., Keinänen, J., Seppälä, P., Rontu, K., Tiainen, A., Nygren, A., Maunula, M., Taina, T., Siekkinen, J., Belinskij, A., Pullolla, T. 2009. Vesihuoltolain tarkistamistyöryhmän väliraportti. Helsinki, Maa- ja metsätalousministeriö. 70 s.

Kattoliitto ry. [Viitattu 9.3.2010]. Saatavilla <http://www.kattoliitto.fi/> Toimivat katot > Loivat katot > Liikennöidyt tasot, pihakannet ja terassit > Kylmät kansirakenteet.

Kettunen, J. 2009. Toimialajohtaja. Hämeenlinnan kaupunki. Sähköposti 26.1.2009. Kettunen, J.; Inha, L. "Tutkimus kevennetyn kunnallistekniikan sovelluskohteista".

Kevennetty kunnallistekniikka Paimion Oinilan pientaloalueella. Ensimmäisen rakennusvaiheen toteutus, seuraavien rakennusvaiheiden suunnitelmat ja ensimmäiset seurantatulokset, 1984. Espoo, VVT Tiedotteita 296. 71 s. + liit. 5.

Koskiahio, J. 2009. Positiivisia tuloksia Hovin tutkimuskosteikon toiminnasta [Verkojulkaisu]. Hiidenveden kunnostus -hanke, Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. [Viitattu: 9.4.2010]. Saatavilla: [http://www.hiidenvesi.com/Pdf/Maasaa\\_130509\\_Koskiahio\\_Jari.pdf](http://www.hiidenvesi.com/Pdf/Maasaa_130509_Koskiahio_Jari.pdf)

Kotiniemi, J. Porin kaupunkitulva 12.8.2007. Kaupunkitulvatyöryhmän selvitystyön tuloksia, seminaari 29.5.2008.

Kotola 2003. Kaupunkihydrologia ja hulevedet. Vesitalous 4/2003, s. 23–27. [Viitattu 2.3.2010]. Saatavissa: <http://www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2003/042003/jyrkkoto.pdf>

Kuusamon energia ja vesi. Usein kysyttyä, Mikä on padotusventtiili ja mihin sitä tarvitaan? [Verkkosivut]. [Viitattu: 10.5.2010]. Saatavilla: [http://www.kuusamonevo.fi/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=31&Itemid=45](http://www.kuusamonevo.fi/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=31&Itemid=45)

Kylén, M. 2009. Rakennuttajainsinööri. Paimion kaupunki. Puhelinkeskustelu 3.9.2009.

Lankiniemi, M. Porin kaupunkitulva 12.8.2007. Kuntien 4. Ilmastokonferenssi, Tampere, 6. – 7.5.2008. Porin kaupungin ympäristötoimi. [Viitattu 24.5.2010]. Saatavilla: <http://www.pori.eu/ymparisto/julkaisut/ilmastokonferenssi.tre7.5.08.pdf>

Larm, T.1994. Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling. Stockholm, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV), VA-FORSK –serien 1994-06. 204 s.

Lehtikangas, S. et Al. Kaupunkitulvat kaavoituksessa. 2005. Vesitalous 5/2005. s. 14 – 15. Sähköinen julkaisu. [Viitattu 2.3.2010]. Saatavilla: <http://www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2005/052005/satulehti.pdf>

Leminen, K. 1985. Imeyttävä kuivatustekniikka pientaloalueella. VTT, Tiedotteita 459. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). 51 s.

Leminen, K. ja Helander, R. 1985. Hulevesien Imeytyskokeilu Espoon Pihlajarinteessä. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 49 s.

Leminen, K. 1986b. Oinilan koerakennuskohde Paimiossa. In: Jalkanen, P., Leminen, K., Ristikartano L., Tammirinne, M., Tiainen, V-M., Lahti, J. Kunnallistekniikan keventäminen. 172-86. Painos 35. Helsinki. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus INSKO ry. Osa II, 30 s.

Lemminkäinen Infra Oy. Pienrakentajat – Asfaltti – Tuotteet. [Viitattu 26.2.2010] Saatavilla: <http://www.lemminkaineninfra.fi/fi/Pienrakentajat/Asfaltti/Tuotteet>

Leppäviidan ekokortteli ja Monikonpuro esittäytyvät ensi viikon puistona. Espoo tänään, Uutiset. [Espoon kaupungin kotisivut]. [Viitattu 31.12.2009]. Saatavissa: <http://www.espoo.fi/default.asp?path=1;28;29;37412;37470;86972>

Lundberg, K. & Lindman, P. 1994. Rening av vägdagvatten. Linköping: Tryck-Center Ab. 45 s. (Statens geotekniska institut, Vägledning 7). ISSN 1100-6692

Lupapäätös. Nro 12/2007/3; Dnro LSY-2006-Y-213. Länsi-Suomen ympäristövirasto. Länsi-Suomen ympäristölupaviraston vesilupapäätökset 2007. Helsinki 2007. [Viitattu 31.12.2009]. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=62308&lan=fi>

Lönnngren, G. 2001. Vatten i dagen - exempel på ekologisk dagvattenhantering. Milano: Eurodito S.p.A. 71 s. ISBN 91-7332-958-4

Metodekatalog [Verkkojulkaisu]. Københavns Kommune. 19.4.2010 [Viitattu: 11.5.2010]. Saatavilla: <http://www.kk.dk/Borger/BoligOgByggeri/Byggetilladelse/VandOgAfloeb/LokalAfledningAfRegnvand/Metodekatalog.aspx>

Mäkinen, J. 2008 Ekologinen hulevesien käsittely –esimerkkitapaus Vaasasta. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Environmental engineering. 62 s. + 11 liitettä.

Nenonen, M. et al. Viherkatot. Kotipuutarha. Puutarha-alan keskusjärjestö. Puutarhaliitto. [Viitattu 9.3.2010]. Saatavilla: <http://www.kotipuutarha.fi/index.php?section=130>

Paavilainen, A. 2008. Turvallisen asumisen arvo. Turvallisen asumisen seminaari 2008, 5.9.2008. Lähivakuutus. [Viitattu 4.5.2010] Saatavilla: [http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Turva/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Seminaarit/Seminaarit\\_2008/Turvallisen\\_asumisen\\_seminaari\\_2008/Turvallisen\\_asumisen\\_arvox\\_Paavilainen.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Turva/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/Seminaarit_2008/Turvallisen_asumisen_seminaari_2008/Turvallisen_asumisen_arvox_Paavilainen.pdf)

Perttula, P. 2004. Viikin ekologisen koerakentamisalueen hulevesien hallinnan seurantatutkimus. Helsinki, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut, 2004:8. 30 s. + 4 liit.

Reinikainen, P. 2009. Toimitusjohtaja. Vaasan Vesi. Puhelinkeskustelu 22.1.2009.

Sario, J., Kupiainen, K., Silvennoinen, H., Tervahattu, H. 2005. Hulevedet ja kiinteistöjen kuivatus, Hallinnon ja lainsäädännön kehittäminen. In: Vakkilainen, P., Kotola, J., Nurminen, J. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta [WWW]. Suomen ympäristö 776, Ympäristönsuojelu, s. 78–89. [Viitattu 31.12.2009]. Saatavilla: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=39235&lan=FI>

Siitarinen, E. 2009. Ramboll. Sammon alueen hulevesien kuivatusoja maisemoitiin kauniisti Hämeenlinnassa. Kuva.

Siukkola, M. Jätevesiviemäristön tulvimiseen liittyvät vastuut sekä vahinkojen esto ja minimointi. Diplomityö. Kouvola 2007. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 142 s. + 14 liit.

Sovellettu hydrologia. Helsinki 1986. Vesiyhdistys r.y. 503 s.

Stahre, P. 2006. Sustainability in urban storm drainage. Planning and examples. Malmö, Svenskt Vatten. 81 p.

SUDSnet a, Sustainable Urban Drainage Systems Network. Viherpainanteita talvisessa Coloradossa. Lumen sulaessa vedet valuvat painanteisiin. Ylikulkureittien rummut hidastavat veden virtausnopeutta. Kuva. [Viitattu 9.3.2010]. Saatavilla: <http://sudsnet.abertay.ac.uk/index.html> SUDSphotos > Swales > Swales through properties, Colorado.

SUDSnet b, Sustainable Urban Drainage Systems Network. Ajoittain kuiva viivytysallas Englannista. Kuva. [Viitattu 11.5.2010]. Saatavilla: [http://sudsnet.abertay.ac.uk/images/photos/Detention\\_basins/Jun24187.jpg](http://sudsnet.abertay.ac.uk/images/photos/Detention_basins/Jun24187.jpg)

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 2004a. Vesihuolto I. Raportti: RIL-124-1-2004, Helsinki.

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 2004b. Vesihuolto I. Raportti: RIL-124-2-2004, Helsinki.

Stormwater-hanke, Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet [Lahden kaupungin verkkosivut]. [Viitattu 7.6.2010]. Saatavissa: [http://www.lahtisbp.fi/fi/klustereiden\\_kehittaminen/ymparistoteknologia/stormwater-hanke](http://www.lahtisbp.fi/fi/klustereiden_kehittaminen/ymparistoteknologia/stormwater-hanke)

Stormwater Inlet Protection Demonstration. 2008. Stormwater and Sediment Field Day, Auckland, New Zealand, 2008. Auckland, Auckland Regional Council. [Viitattu 11.5.2010]. Saatavilla: <http://www.arc.govt.nz/albany/fms/main/Documents/Environment/Sediment%20and%20erosion/Stormwater%20Inlet%20Protection%20fact%20sheet.pdf>

Tampereen kaupunki. Ohjeet huleveden käsittelystä, liite 16. Vuoreksen alue. [sähköinen julkaisu]. [Viitattu 22.2.2010]. Saatavilla: <http://www.tampere.fi/tiedostot/5a85rcL2h/liite16.pdf>

Uponor-hulevesikasetit ja -tunnelit, Uudet ympäristöystävälliset ja tehokkaat ratkaisut hulevesien käsittelyyn [Uponorin sähköinen tuote-esite]. Nastola, Uponor Suomi Oy. 5/2009. [Viitattu 7.5.2010]. Saatavilla: [http://www.uponor.fi/upload/Documents%20\(PDF%20and%20officedocuments\)/Finland/IE/PDF%20%20Brochures%20Finland/09%20Sadeveden%20poisto%20ja%20salaojitus/Esitteet/38005\\_tunnelit\\_kasetit\\_05\\_2009.pdf](http://www.uponor.fi/upload/Documents%20(PDF%20and%20officedocuments)/Finland/IE/PDF%20%20Brochures%20Finland/09%20Sadeveden%20poisto%20ja%20salaojitus/Esitteet/38005_tunnelit_kasetit_05_2009.pdf)

Vakkilainen, P., Koskela, J., Hepojoki, A., Kuusisto, E. Valunta [WWW]. Vesitekniikan perusteet 2008, luento 4. 1.4.2008. Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. [Viitattu 4.5.2010]. Saatavilla: <http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.1020/Luento4.pdf>



Valunta. Wikipedia. [Viitattu 4.5.2010] Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Valunta>

Veg Tech. Viherkatto Tukholmassa Flemingatanilla. Kuva. [Viitattu 18.5.2010]. Saatavilla: <http://www.vegtech.se/sv/om-vegtech/ladda-ner-bilder/sedumtak.aspx>

Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportti. 2005. Ehdotukset toimenpiteiksi vesihuollon varautumisen kehittämiseksi. Työryhmämuistio MMM 2005:7. 99 s. [Viitattu 2.3.2010]. Saatavilla: [http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/trm2005\\_7.pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/trm2005_7.pdf)

Vesitalous (tieteenala). Wikipedia. [Viitattu 4.5.2010]. Saatavilla: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesitalous\\_\(tieteenala\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesitalous_(tieteenala))

Viherkatto suojaa kuumuudelta ja pienhiukkasilta. STT, Keski-suomalainen. 29.6.2009. [Viitattu 9.3.2010]. Saatavilla: <http://www.ksml.fi/uutiset/kotimaa/viherkatto-suojaa-kuumuudelta-ja-pienhiukkasilta/460603>

Villarreal, E. 2005. Beneficial Use of Stormwater – Opportunities for urban renewal and water conservation. Lund University of Technology. Doctoral Thesis.

Wavin Labko. Hulevesikasetit. [Wavin Labkon verkkosivu]. [Viitattu: 27.4.2010]. Saatavissa: <http://www.wavin-labko.fi/tuotteet/putkistojarjestelmat/hulevesikasetit/>

Wavin Labko 2010. Uutta teknologiaa hulevesien käsittelyyn. Kuva. Kunnallis Suomi [verkkolehti]. Helmikuu 2010, Infra, s. 5. [Viitattu 26.5.2010]. Saatavilla: [http://www.ammattiviestit.fi/resources/userfiles/File/KS\\_infra\\_0210\\_Pieni.pdf](http://www.ammattiviestit.fi/resources/userfiles/File/KS_infra_0210_Pieni.pdf)

Wavin Labko. Wavin Q-Bic -sadevesikasetit [Tuote-esite]. Wavin Labko, 2007. [Viitattu 11.5.2010]. Saatavilla: <http://wavin-labko-fibin.directo.fi/@Bin/b31f3efc7ac2e9e8c40cf409e6a4acc4/1273559677/application/pdf/24579/Wavin%20QBic%20esite.pdf>

Wolfe, B. 2004. Use of Storm Drain Inlet Filters and Oil/Water Separators to Meet the Requirements of NPDES Municipal Stormwater Permits [Sähköinen julkaisu]. Oakland, California. California Regional Water Quality Control Board, San Francisco Bay Region. [Viitattu: 11.5.2010]. Saatavilla: [http://www.flowstobay.org/documents/business/new-development/Appendix\\_F\\_Applicability\\_of\\_Inlet\\_Filters-Oil\\_Water\\_Separators-Hydrodynamic\\_Separators.pdf](http://www.flowstobay.org/documents/business/new-development/Appendix_F_Applicability_of_Inlet_Filters-Oil_Water_Separators-Hydrodynamic_Separators.pdf)

Yhteyttäminen. Wikipedia. [Viitattu 10.5.2010]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Yhteytt%C3%A4minen>